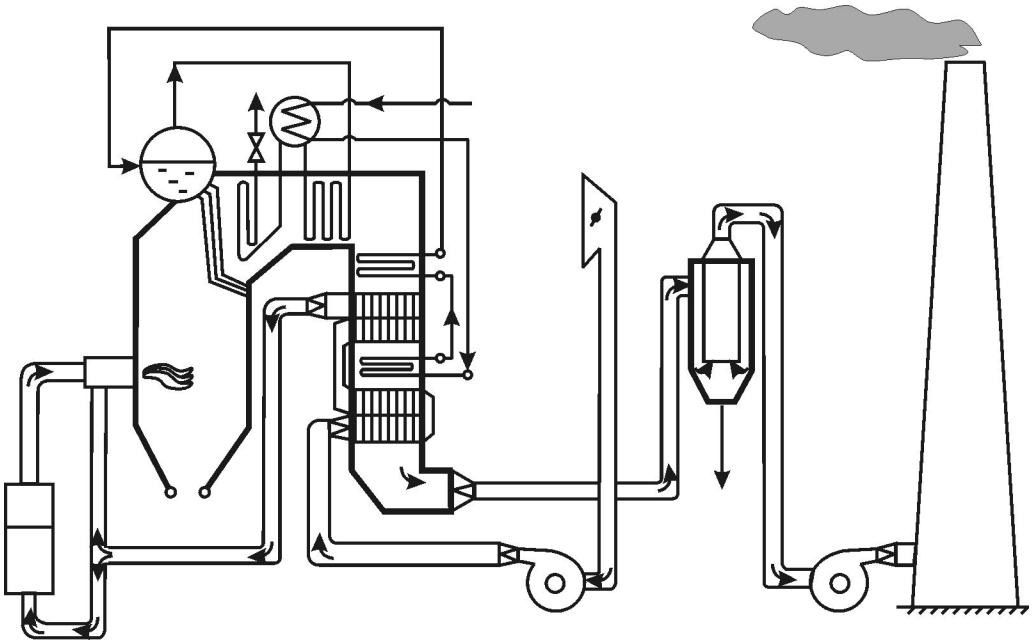
Смородин С.Н. , Иванов А.Н.
Белоусов В.Н., Лакомкин В.Ю.

ТЕПЛОВОЙ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТЫ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Учебное пособие

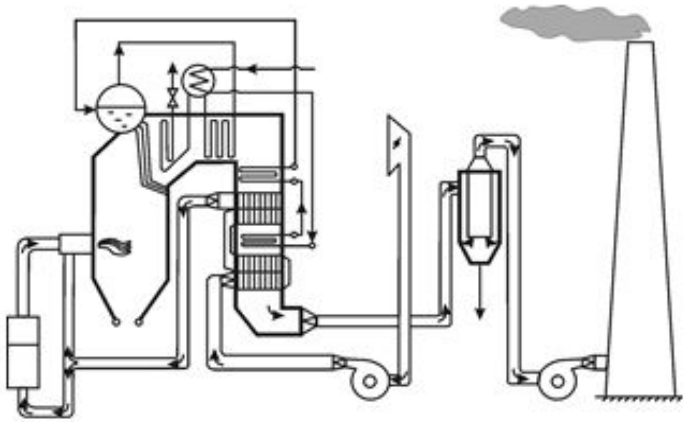


Санкт-Петербург
2013

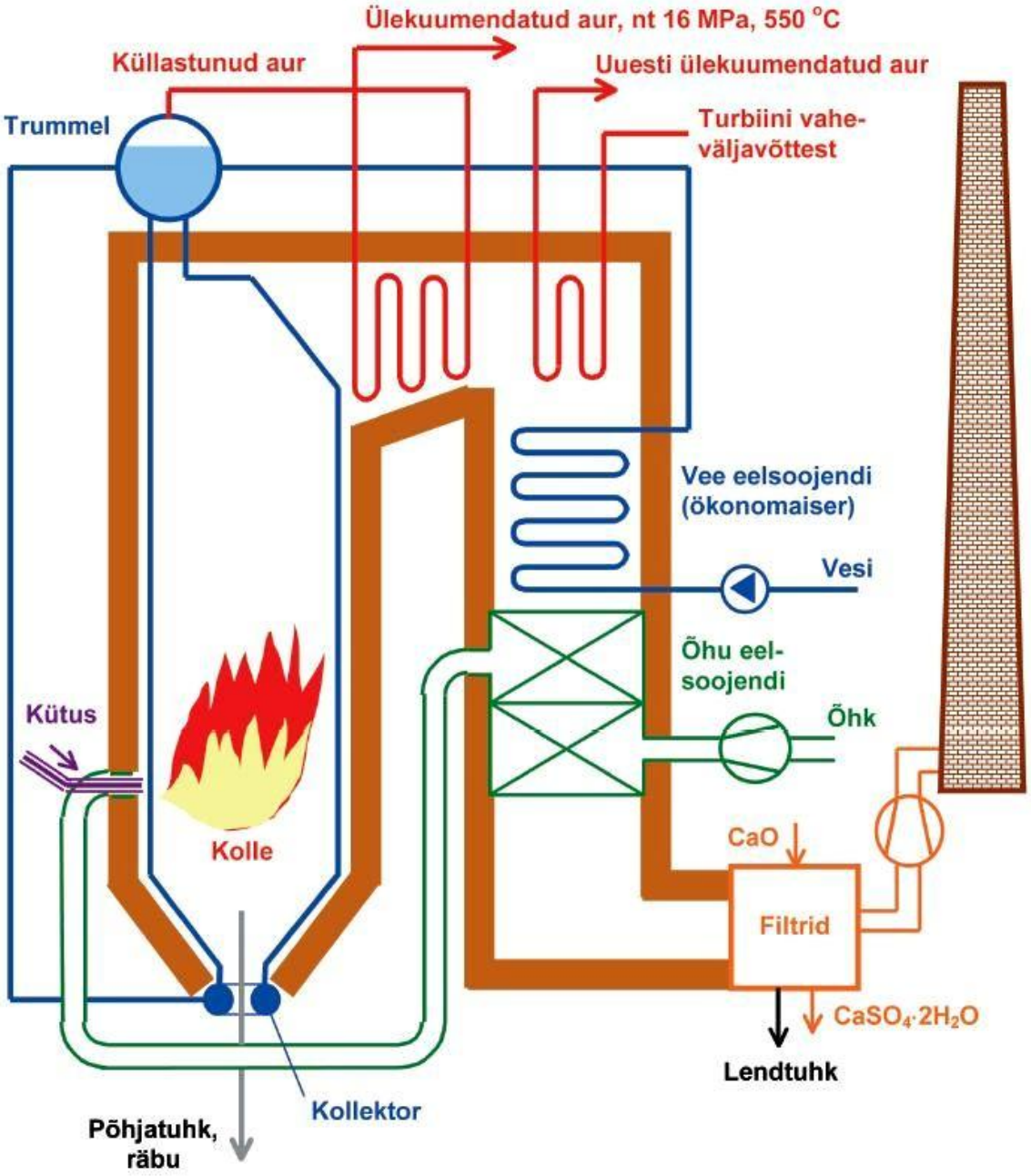
С.Н. Смородин, А.Н. Иванов, В.Н. Белоусов

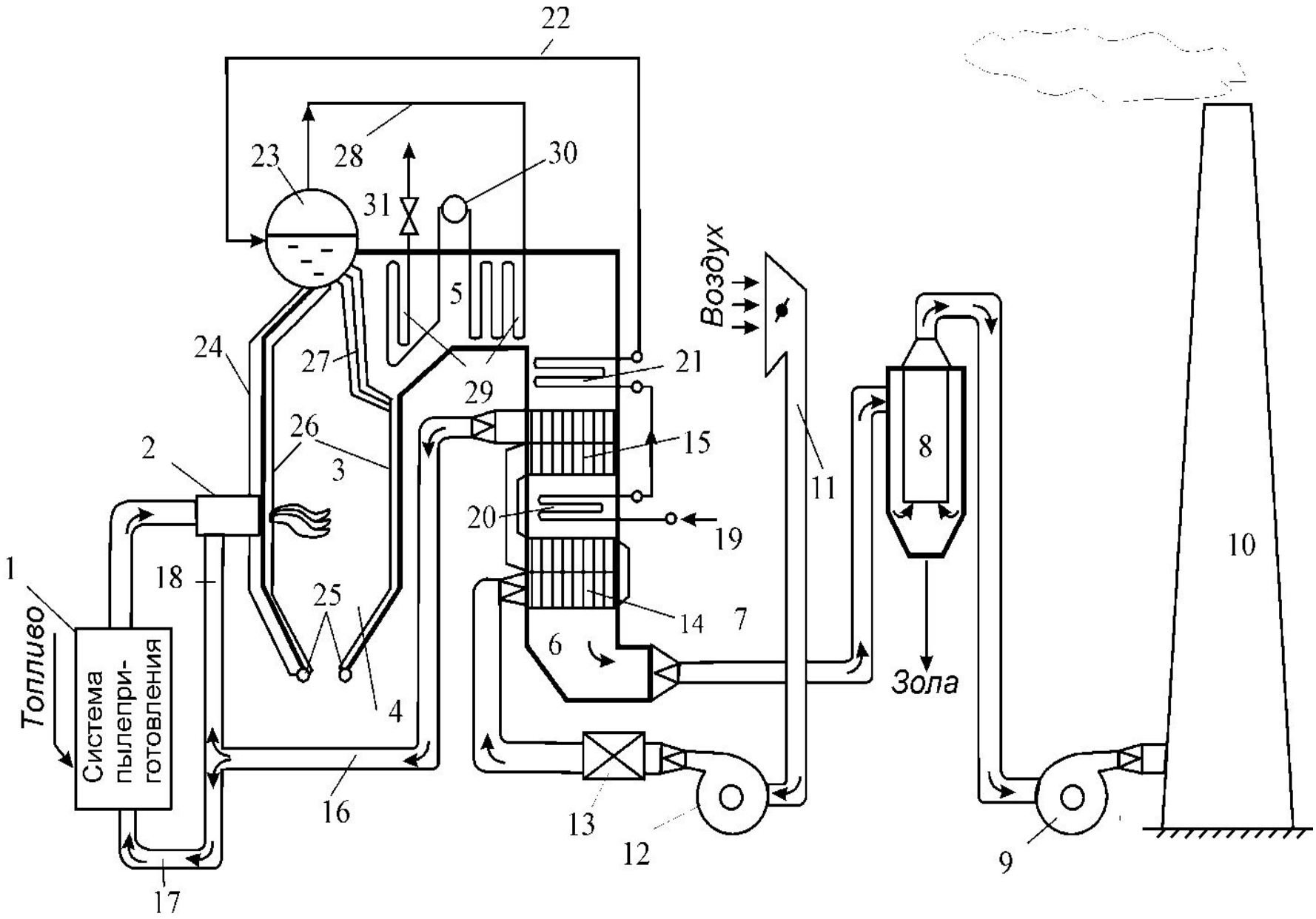
КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

Учебное пособие



Санкт-Петербург
2009


Ülekuumendatud aur, nt 16 MPa, 550 °C
Küllastunud aur
Uuesti ülekuumendatud aur
Trummel
Turbiini vahe-
väljavõttest
Vee eelsoojendi
(ökonomaiser)
Vesi
Õhu eel-
soojendi
Õhk
Kütus
Kolle
CaO
Filtrid
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Lendtuhk
Kollektor
Põhjatuhk,
räbu


22
23
28
30
31
5
24
27
29
21
Воздух
26
2
3
15
11
8
20
19
10
1
18
25
14
7
Топливо
Система пылеприготовления
6
Зола
4
16
13
12
9
17

Исходные данные для расчета:

Тип котла - барабанный, с естественной циркуляцией.

Паропроизводительность $D_{пе}$, кг/с.

Давление перегретого пара $P_{пе}$, бар.

Температура перегретого пара $t_{пе}$, °С .

Состав топлива:

- месторождение и марка топлива;
- влажность W^r_t, % ;
- зольность A^r, % ;
- сера общая S^r, % ;
- углерод C^r, % ;
- водород H^r, % ;
- азот N^r, % ;
- кислород O^r, % ;
- низшая теплота сгорания Q^r_i, МДж/кг ;
- приведенная влажность $W^r_{пр}$, (%·кг)/МДж ;
- приведенная зольность $A^r_{пр}$, (%·кг)/МДж ;
- выход летучих на горючую массу V^{daf}, % .

Способ сжигания топлива - камерный, с твердым шлакоудалением.

Температура питательной воды после регенеративного подогрева $t_{пв}$, °С.

Непрерывная продувка p, % .

Доля рециркуляции газов в топку - отсутствует.

Температура уходящих газов, $\vartheta_{ух}$, °С.

Температура воздуха на входе в воздухоподогреватель $\vartheta'_в$, °С.

Температура горячего воздуха после воздухоподогревателя $\vartheta_{гв}$, °С.

Компоновка конвективных поверхностей нагрева выбирается: одноступенчатая или двухступенчатая.

Тип углеразмольной мельницы – молотковая.

Таблица 1

Объемы продуктов сгорания по газоходам котлоагрегата

$V^o_в =$, м³/кг; $V^o_{H_2O} =$, м³/кг; $V_{RO_2} =$, м³/кг; $V^o_{N_2} =$, м³/кг; $V^o_г =$, м³/кг

Наименование	Топка, фестон	ПП	2-й В.Э	2-й ВП	1-й В.Э	1-й ВП
Коэффициент избытка воздуха за газоходом, α						
Среднее значение коэффициента избытка воздуха в газоходе, $\alpha_{ср}$						
Объем водяных паров в газоходе $V_{H_2O} = V^o_{H_2O} + 0{,}0161\left(\alpha_{ср} - 1\right)V^o_в$, м³/кг						
Объем дымовых газов $V_г = V^o_г + 1{,}0161\left(\alpha_{ср} - 1\right)V^o_в$, м³/кг						
Объемная доля трехатомных газов $r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_г}$						
Объемная доля водяных паров $r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_г}$						
Объемная доля трехатомных газов и водяных паров $r_п = r_{H_2O} + r_{RO_2}$						
Концентрация золовых частиц $\mu_{зл} = \frac{A^r \cdot a_{ун}}{100 \cdot G_г}$, где масса дымовых газов $G_г = 1 - \frac{A^r}{100} + 1{,}306 \cdot \alpha_{ср} \cdot V^o_в$, кг/кг $a_{ун} =$ (см. табл. 8 Приложения 1).						

Таблица 2

Энтальпии продуктов сгорания по газоходам котлоагрегата

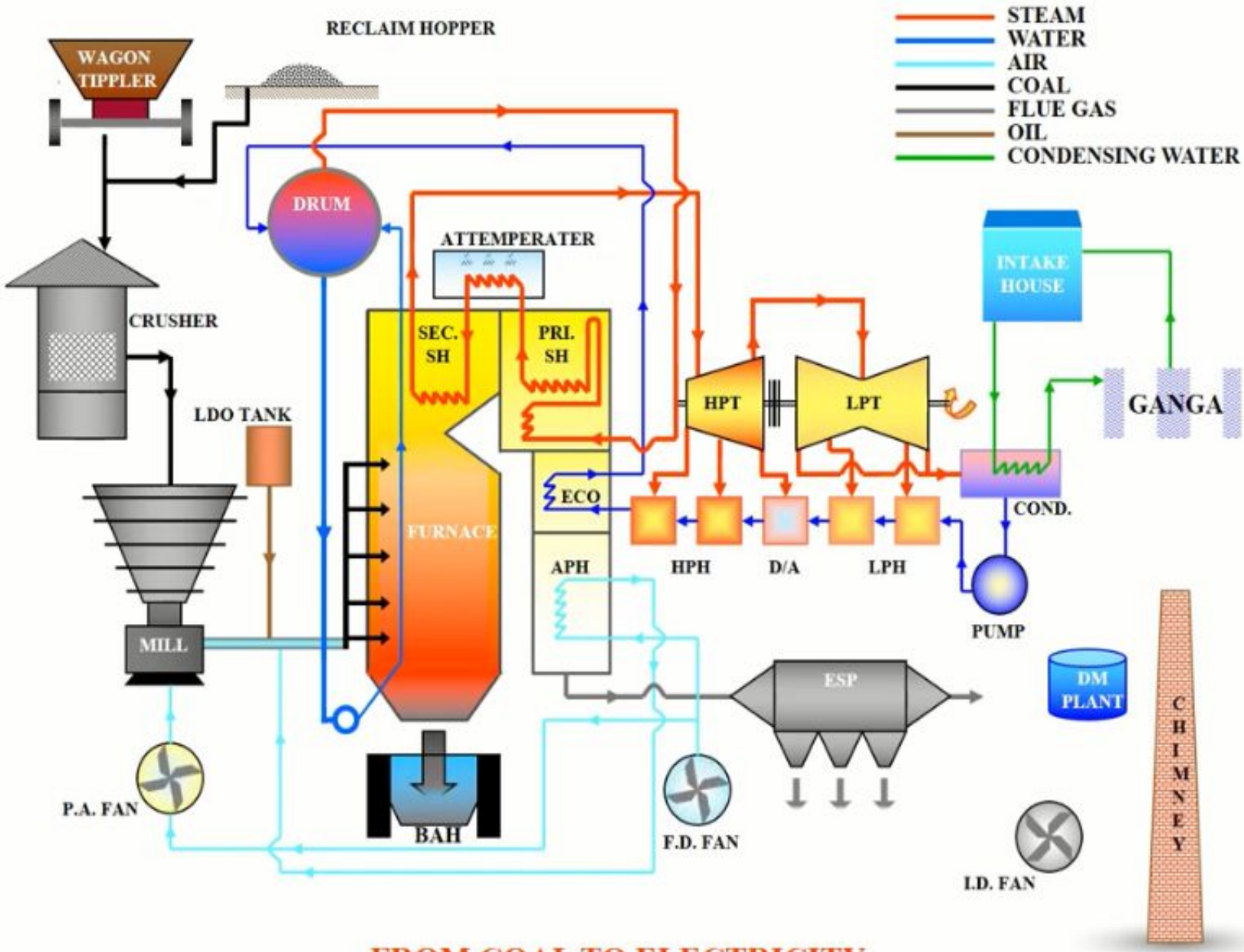
ϑ	$I^0_г$	$I^0_в$	$I_г = I^0_г + (\alpha - 1) I^0_в$; $\Delta I = I_{(\vartheta+100)} - I_\vartheta$											
			топка		ПП		2-й В.Э		2-й ВП		1-й В.Э		1-й ВП	
			I	Δ I	I	Δ I	I	Δ I	I	Δ I	I	Δ I	I	Δ I
100			×		×		×		×		×			
				×		×		×		×		×		
200			×		×		×							
				×		×		×						
300			×		×									
				×		×								×
400			×		×								×	
				×								×		×
500			×								×		×	
				×						×		×		×
600			×						×		×		×	
				×				×		×		×		×
700			×				×		×		×		×	
				×				×		×		×		×
800							×		×		×		×	
								×		×		×		×
900							×		×		×		×	
								×		×		×		×
1000							×		×		×		×	
						×		×		×		×		×
1100					×		×		×		×		×	
						×		×		×		×		×
1200			×		×		×		×		×		×	
				×		×		×		×		×		×
1300			×		×		×		×		×		×	
				×		×		×		×		×		×
1400			×		×		×		×		×		×	
				×		×		×		×		×		×
1500			×		×		×		×		×		×	
				×		×		×		×		×		×
1600			×		×		×		×		×		×	
						×		×		×		×		×
1700					×		×		×		×		×	
						×		×		×		×		×
1800					×		×		×		×		×	
						×		×		×		×		×
1900					×		×		×		×		×	
						×		×		×		×		×
2000					×		×		×		×		×	
						×		×		×		×		×
2100					×		×		×		×		×	
						×		×		×		×		×
2200					×		×		×		×		×	

Примечание

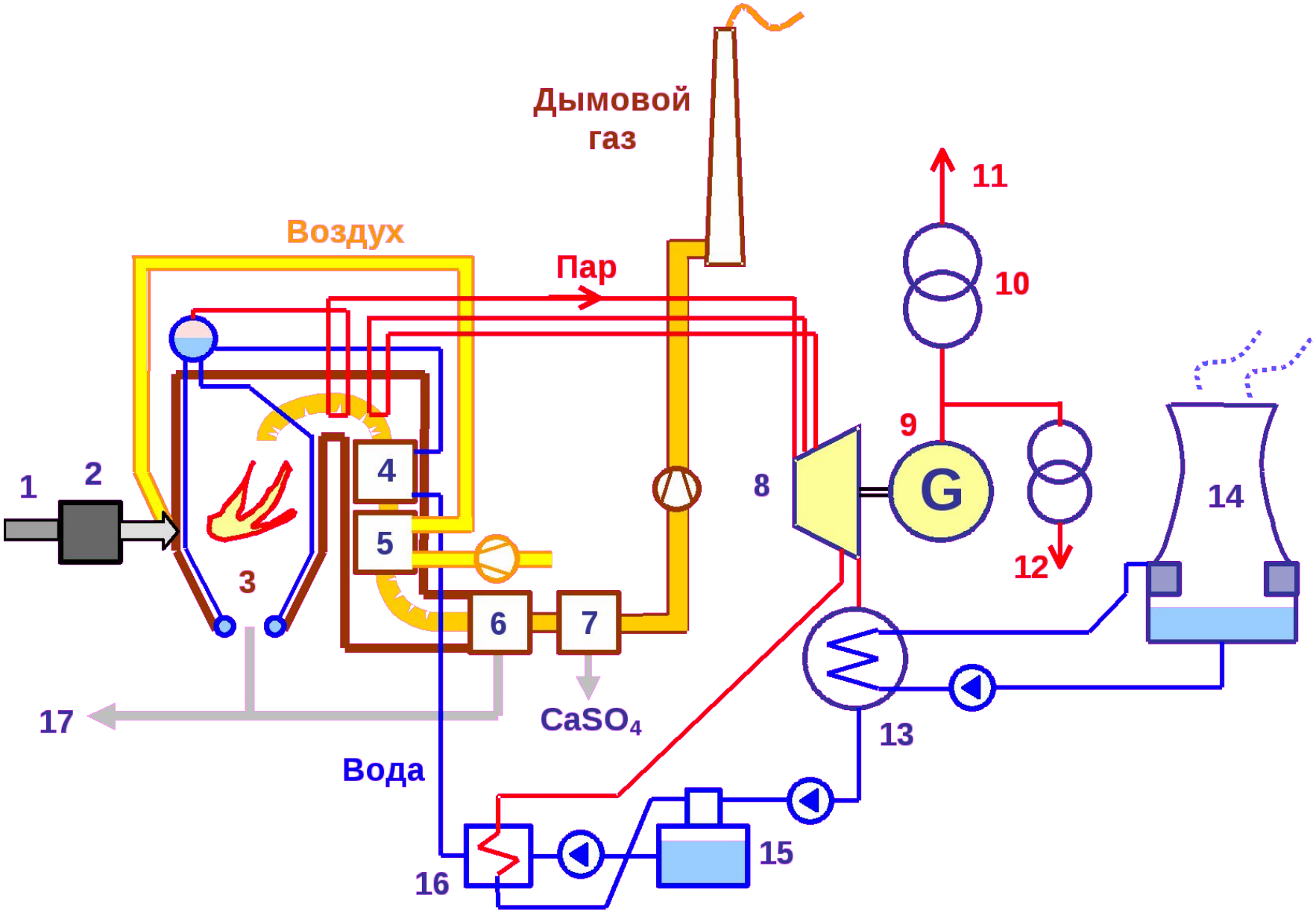
Определение энтальпии газов $I_\vartheta = I_{\vartheta_o} + \frac{\Delta I}{100}(\vartheta - \vartheta_o)$, кДж/кг;

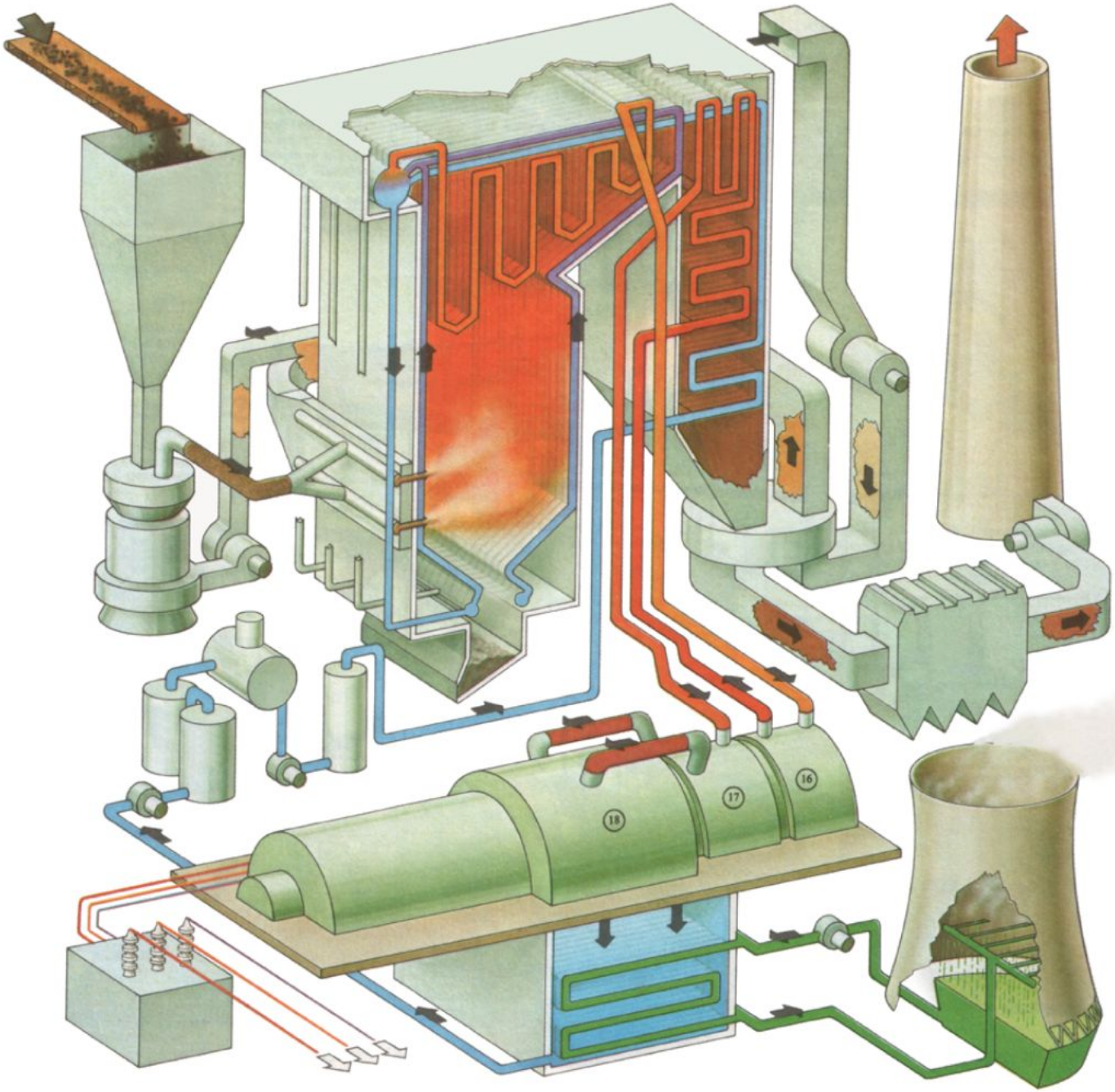
определение температуры газов $\vartheta = \frac{I_\vartheta - I_{\vartheta_o}}{\Delta I} 100 + \vartheta_o$, °С,

где I_ϑ - энтальпия газов при температуре ϑ; I_{ϑ_o} - энтальпия газов при температуре ближайшей меньшей по данной таблице; ϑ_o - ближайшее меньшее значение температуры газов.

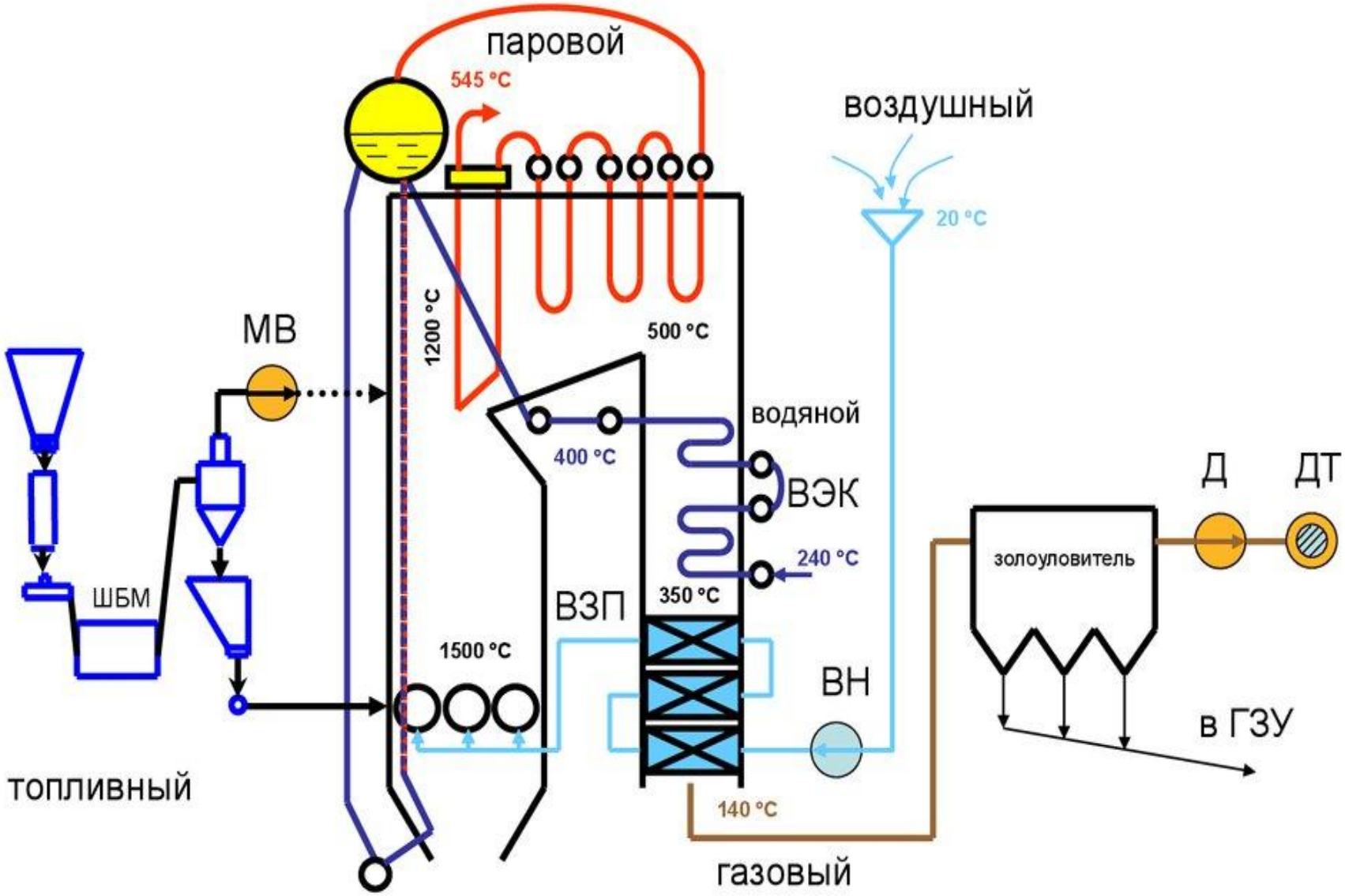


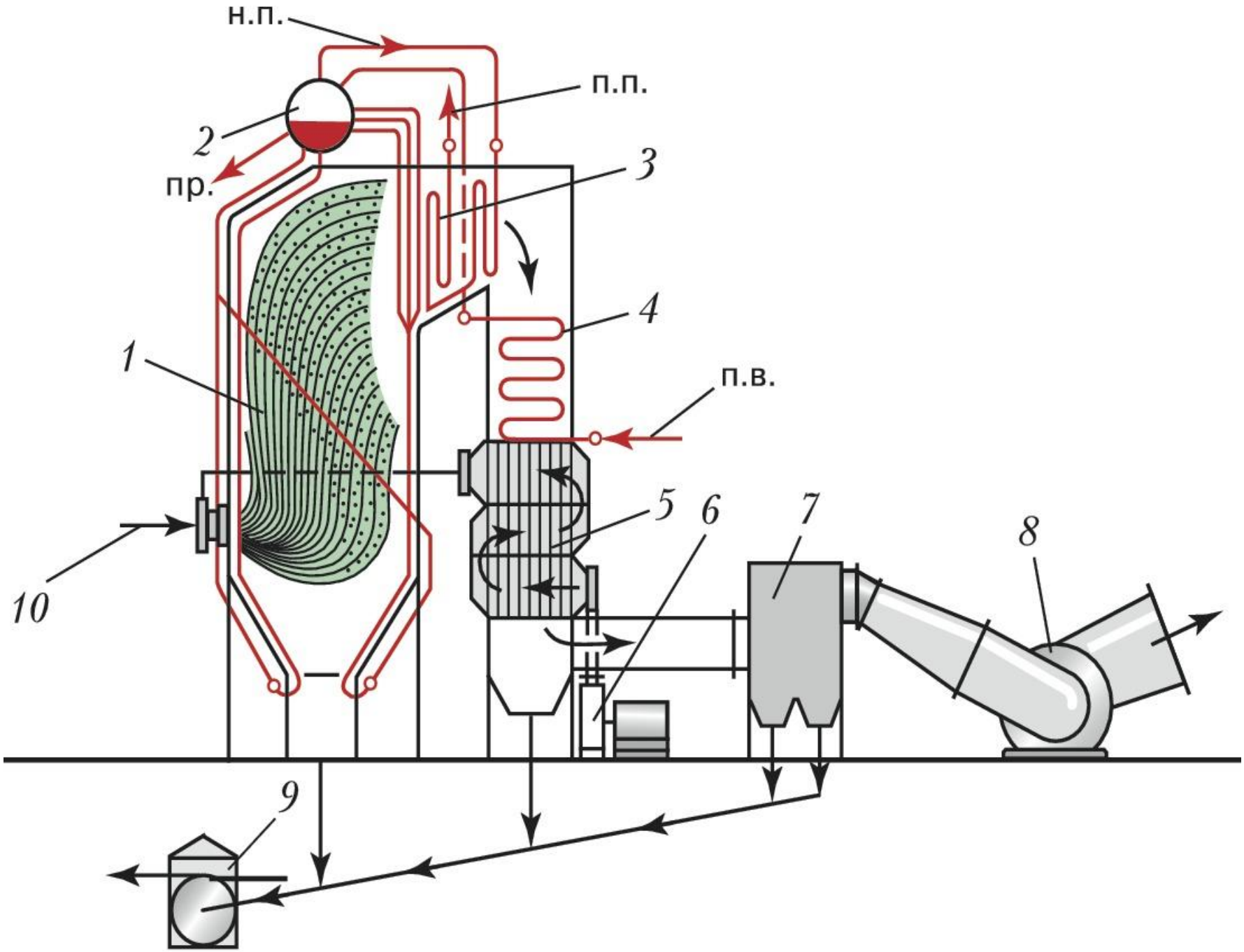
FROM COAL TO ELECTRICITY

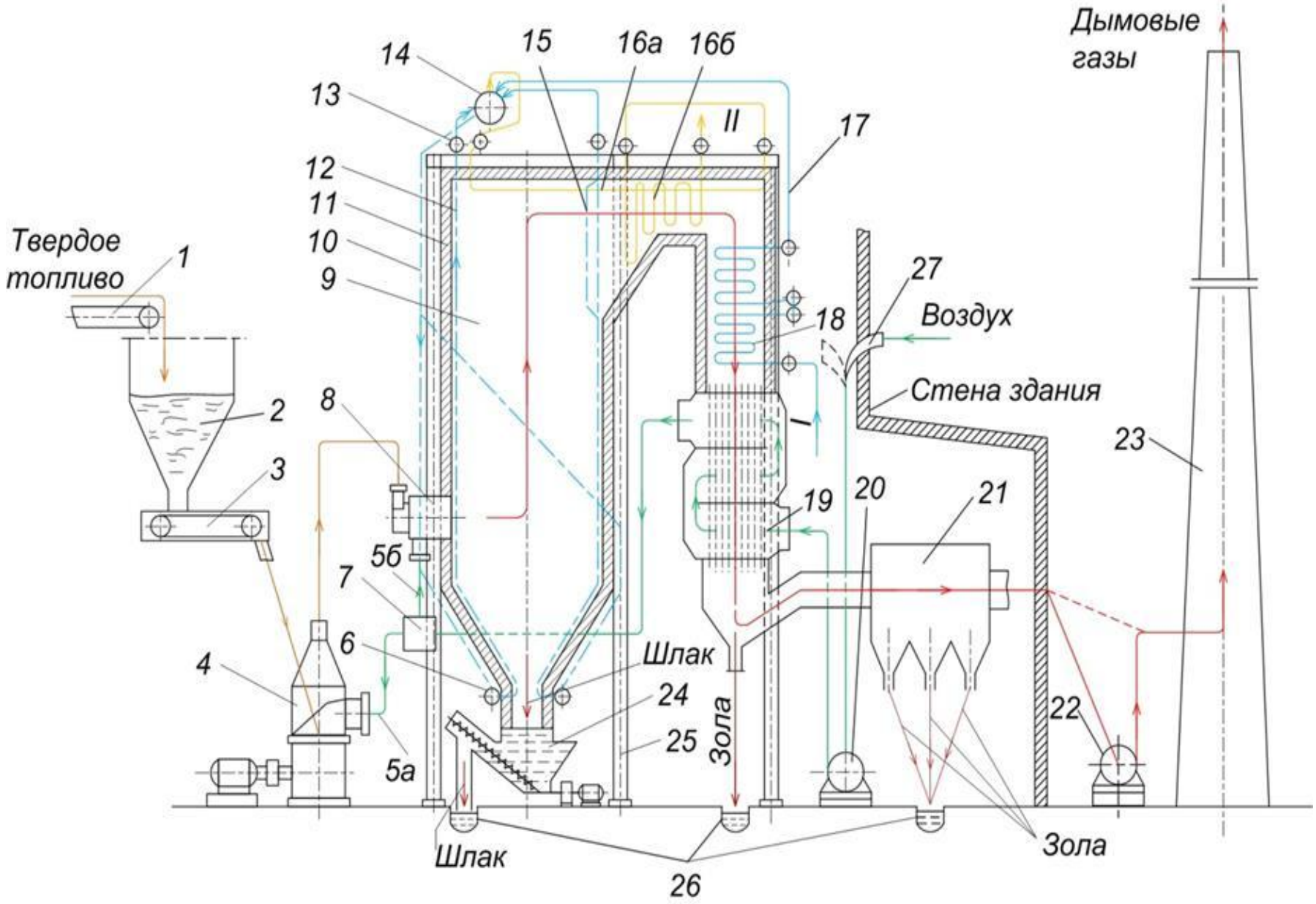

Дымовой газ
Воздух
Пар
11
10
9
G
8
14
12
1
2
3
4
5
6
7
17
$CaSO_4$
Вода
13
15
16

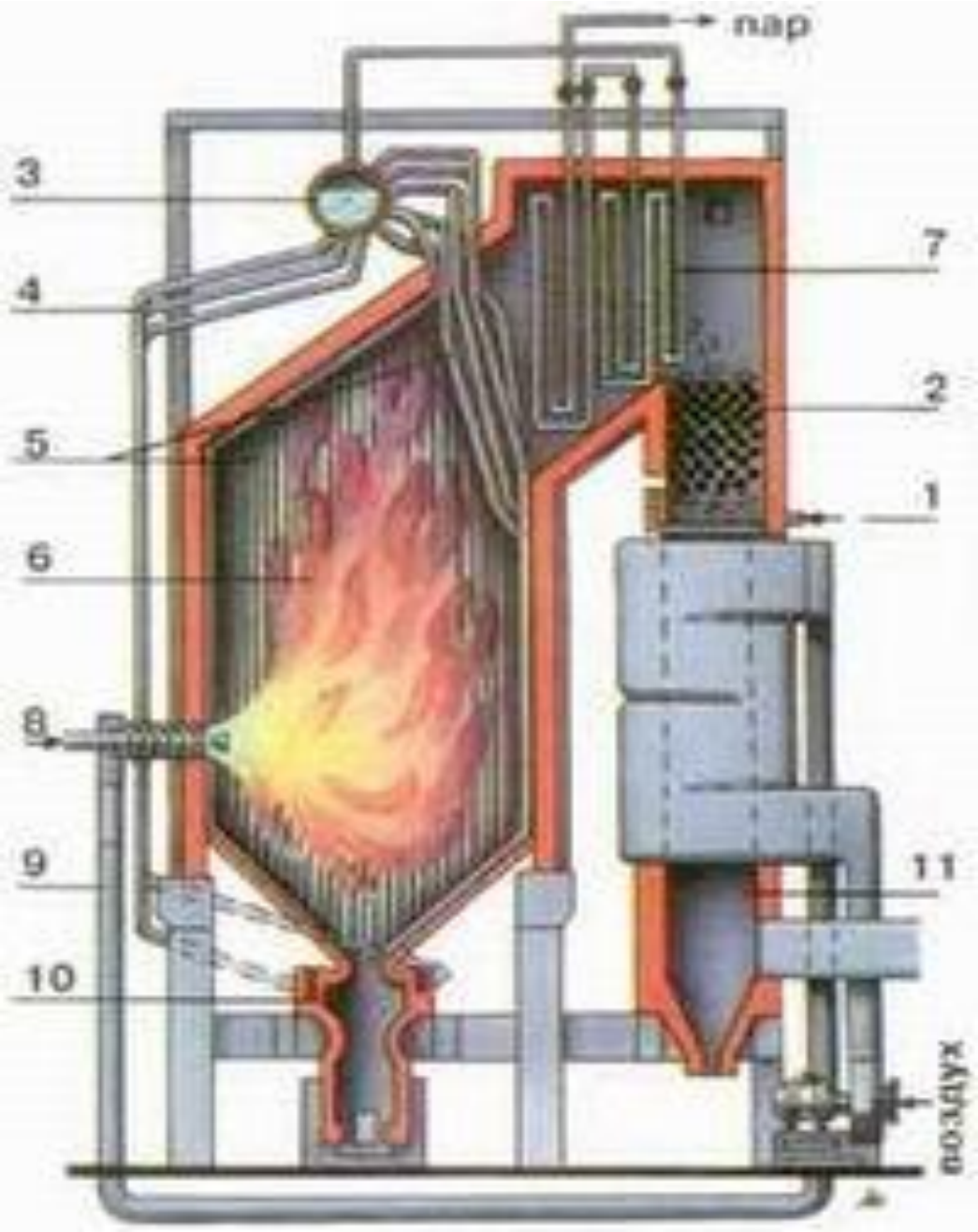

18
17
16

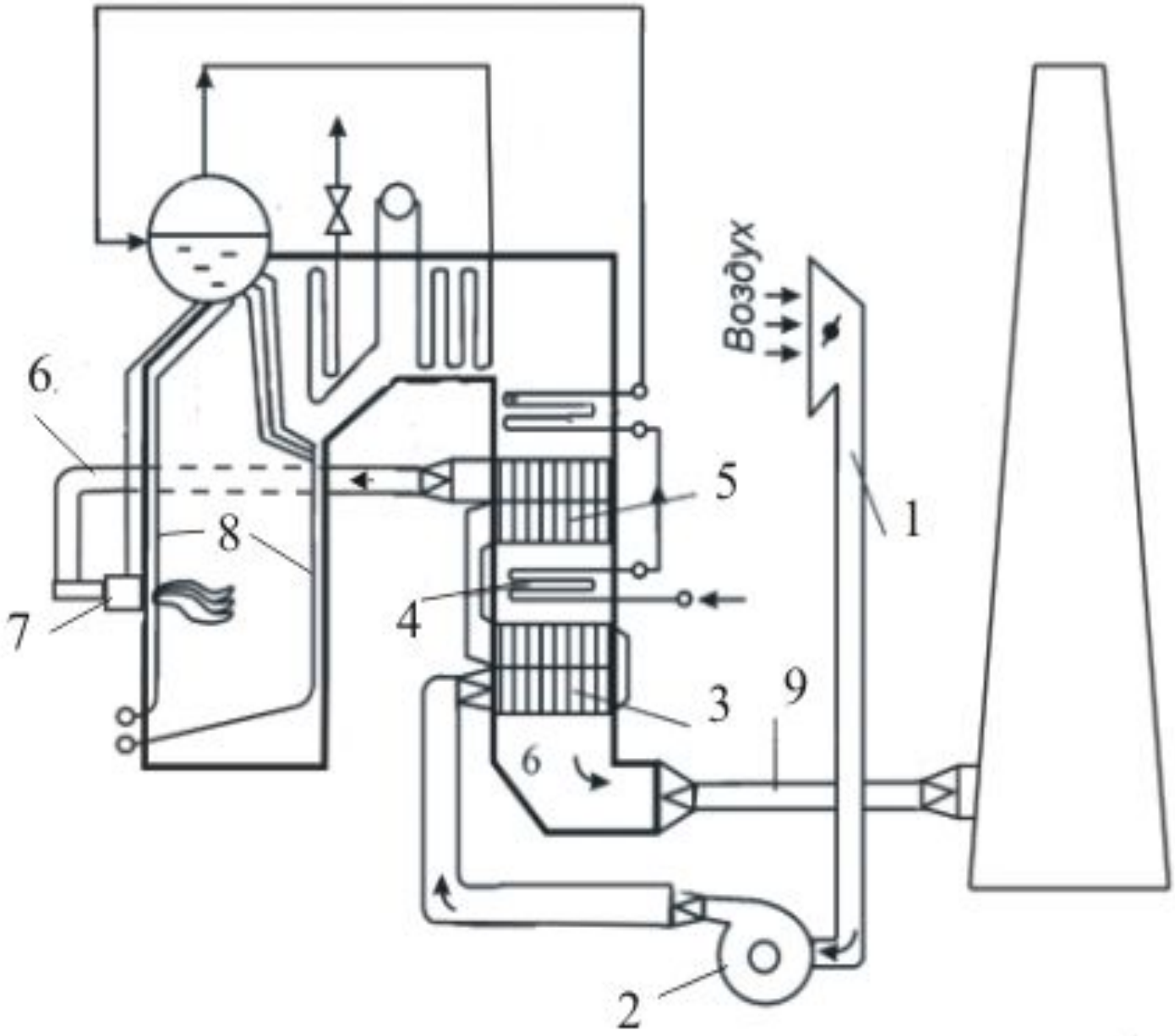
Тракты котла

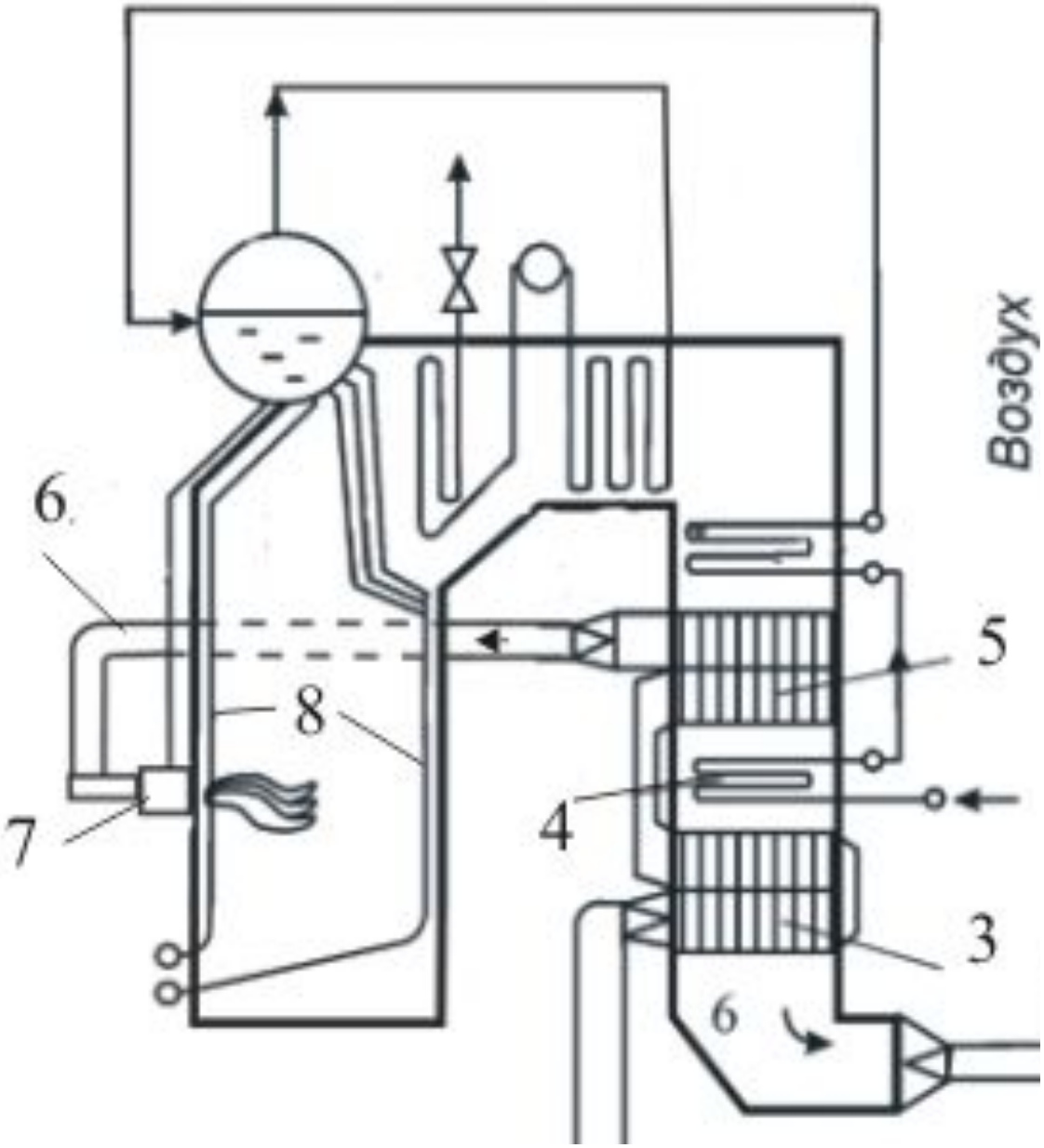


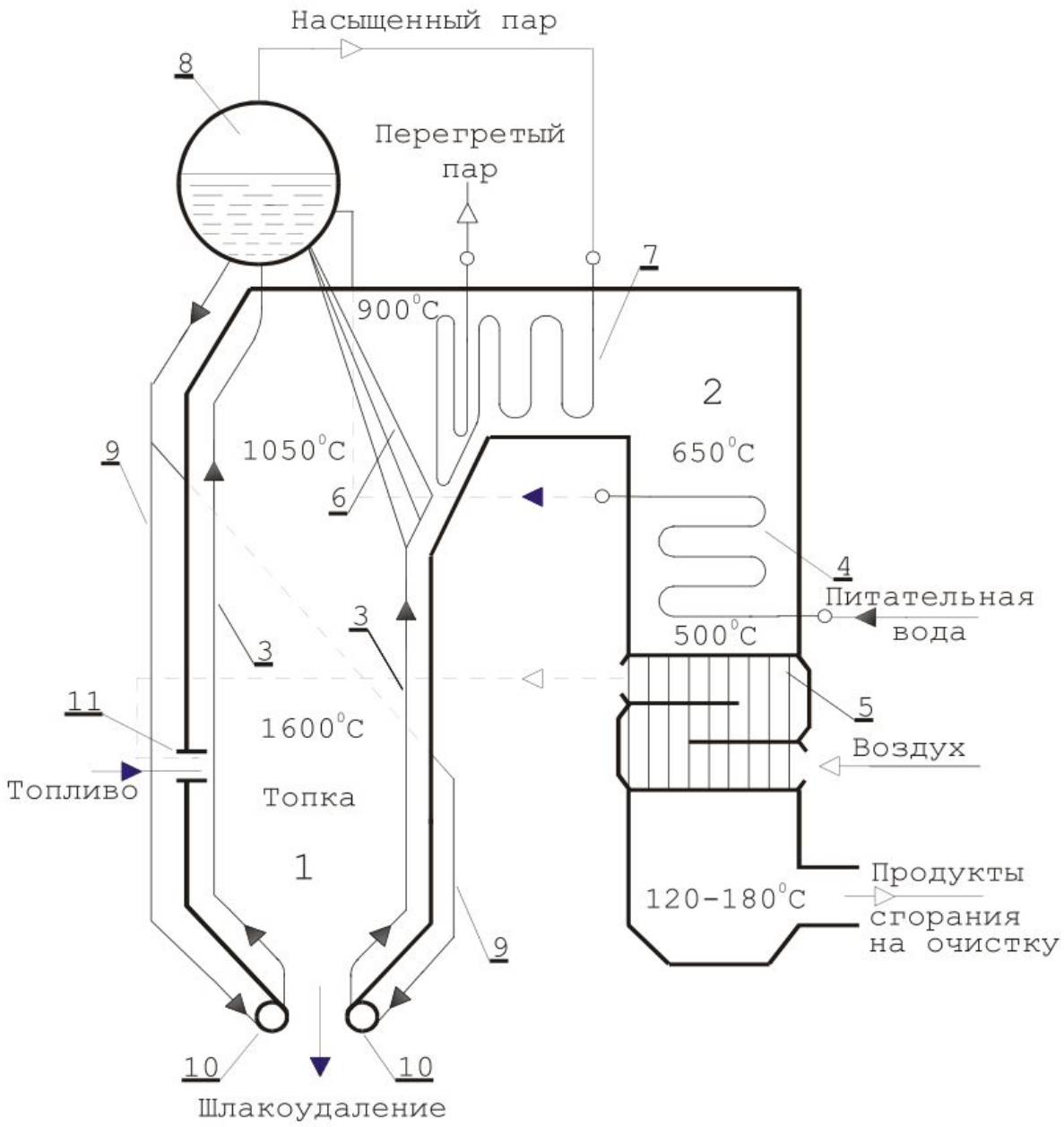

н.п.
п.п.
2
пр.
3
4
1
п.в.
5
6
7
8
10
9

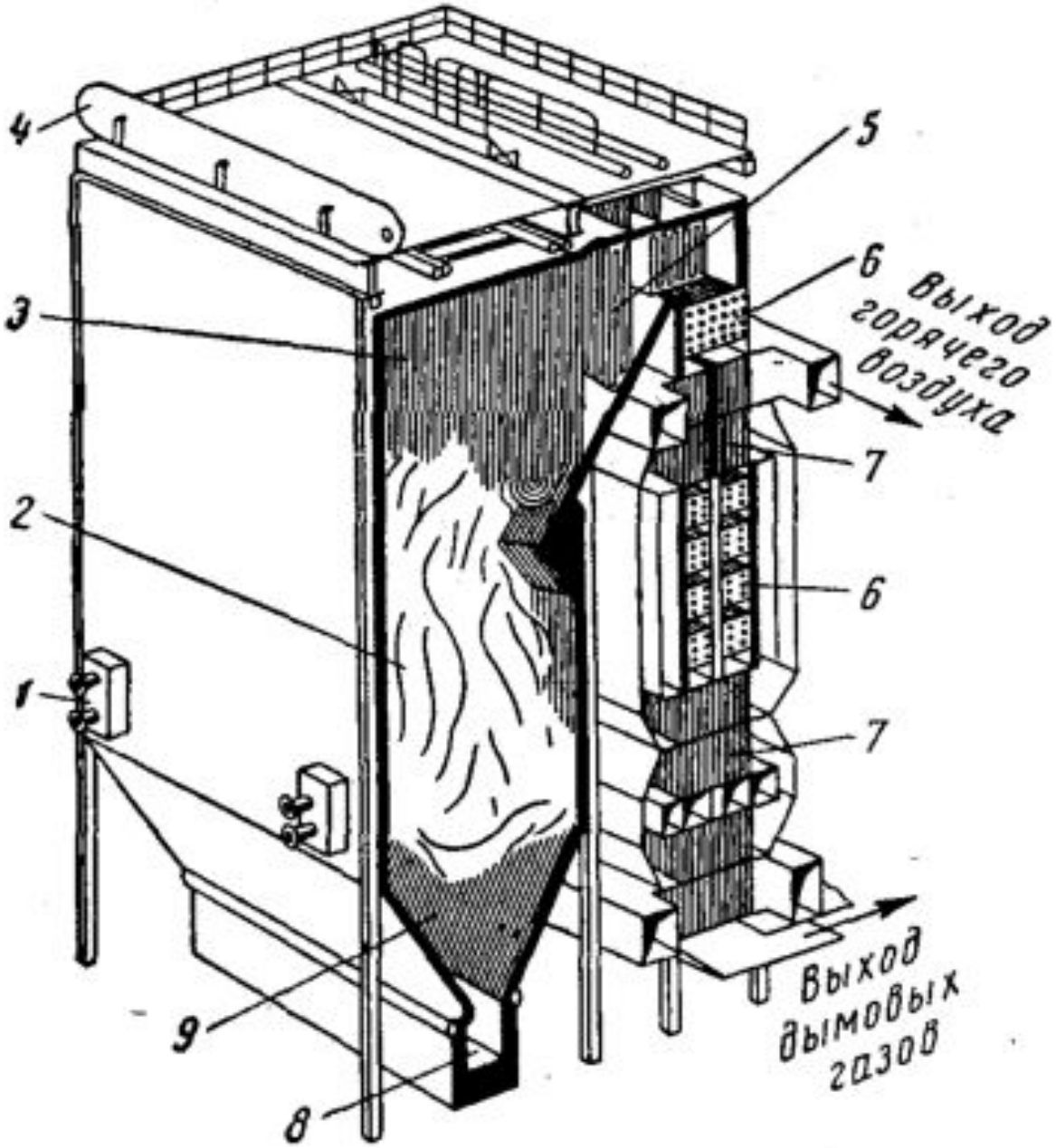

Дымовые газы
Твердое топливо
1
2
3
4
5а
5б
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16а
16б
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
I
II
Воздух
Стена здания
Шлак
Зола
Шлак
Зола


3
4
5
6
8
9
10
nap
7
2
1
11
vzduch


Воздух
1
2
3
4
5
6
6
7
8
9


Воздух
6
5
8
7
4
3
6


Насыщенный пар
8
Перегретый пар
7
900°С
2
650°С
9
1050°С
6
4
Питательная вода
3
3
500°С
11
5
1600°С
Воздух
Топливо
Топка
1
Продукты сгорания на очистку
120-180°С
9
10
10
Шлакоудаление


4
5
6
Выход горячего воздуха
3
7
2
6
1
7
9
Выход дымовых газов
8

Перегретый пар

Насыщенный пар

11

9

10

650 ^{0}C

5

900 ^{0}C

8

2

1050 ^{0}C

7

3

3

500 ^{0}C

4

13

1600 ^{0}C

Питательная вода

Топливо

1

6

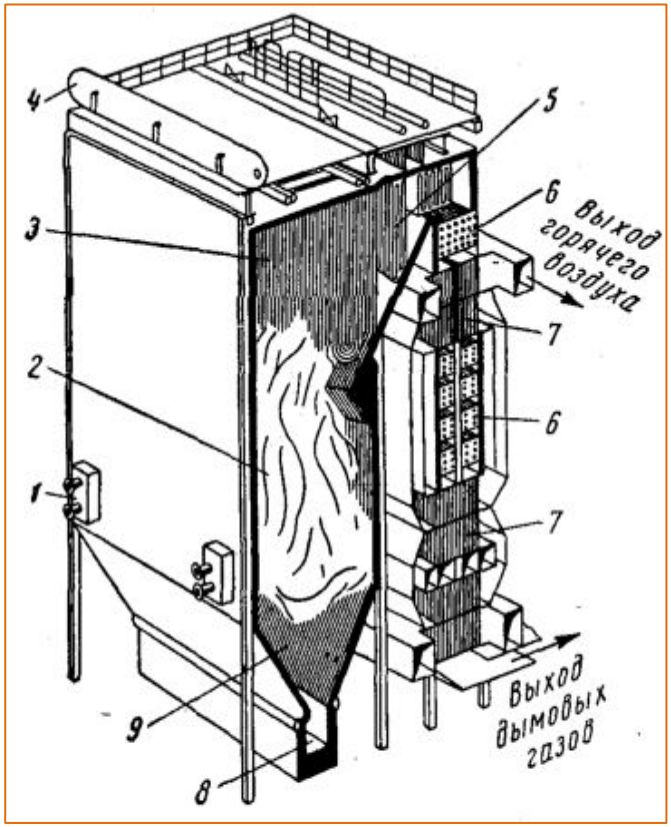
120-180 ^{0}C

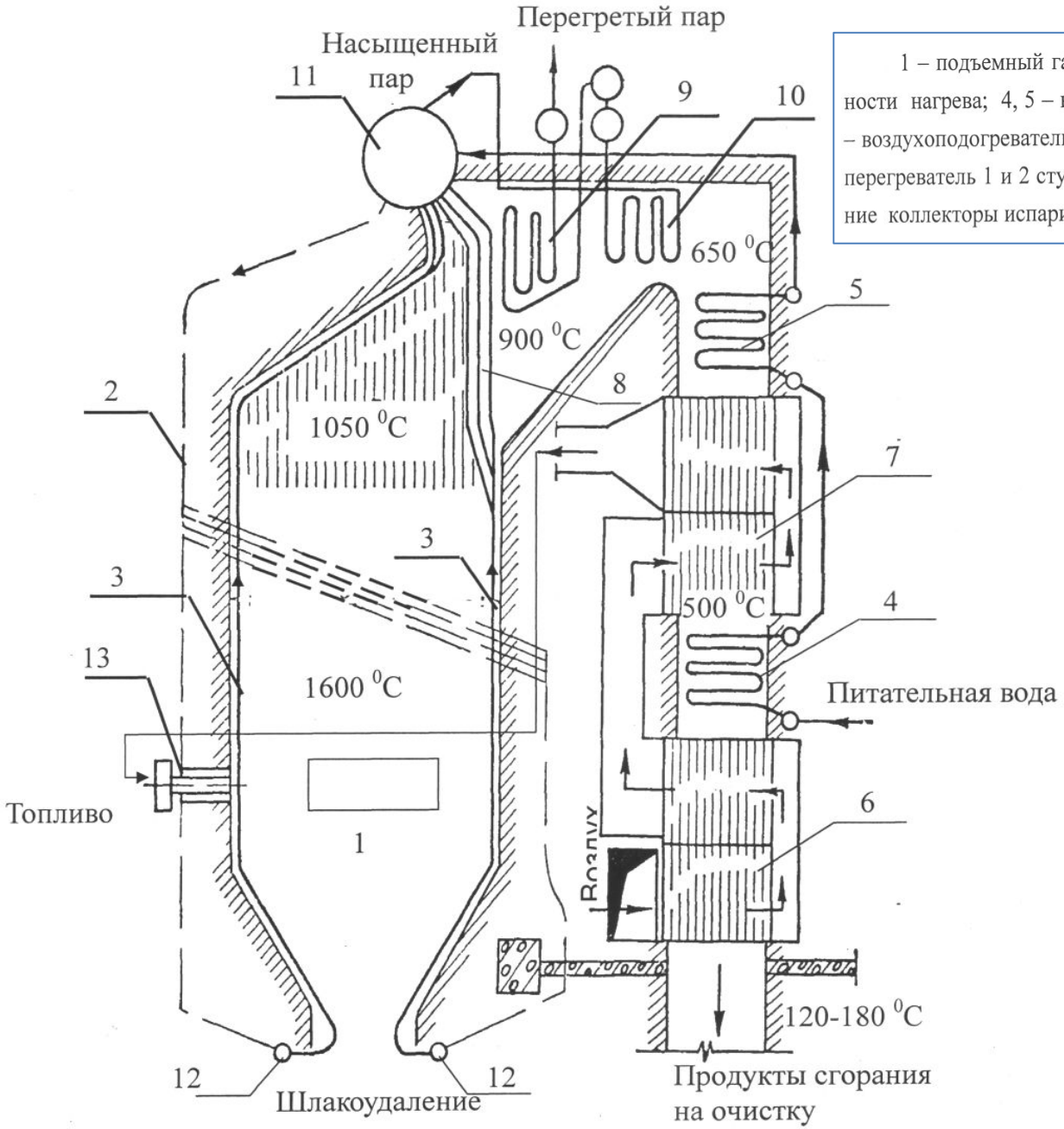
12

12

Шлакоудаление

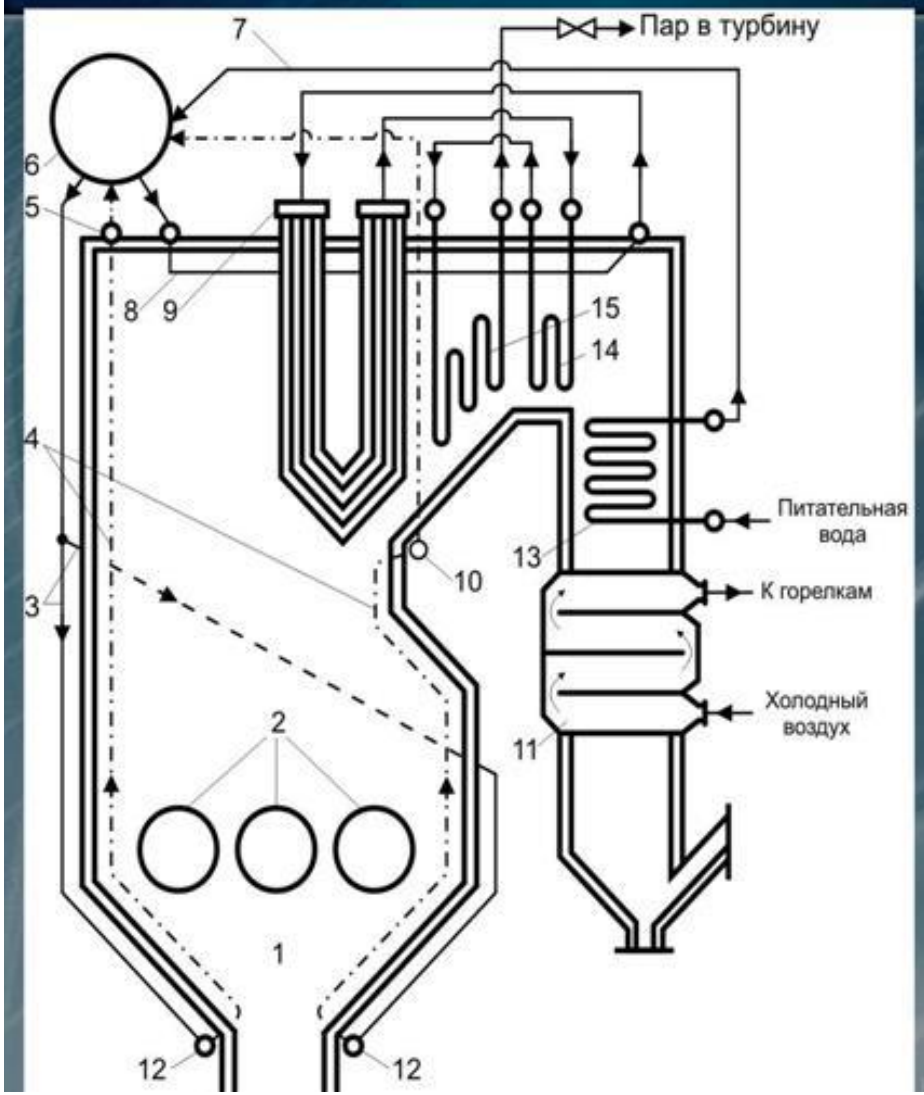
Продукты сгорания на очистку



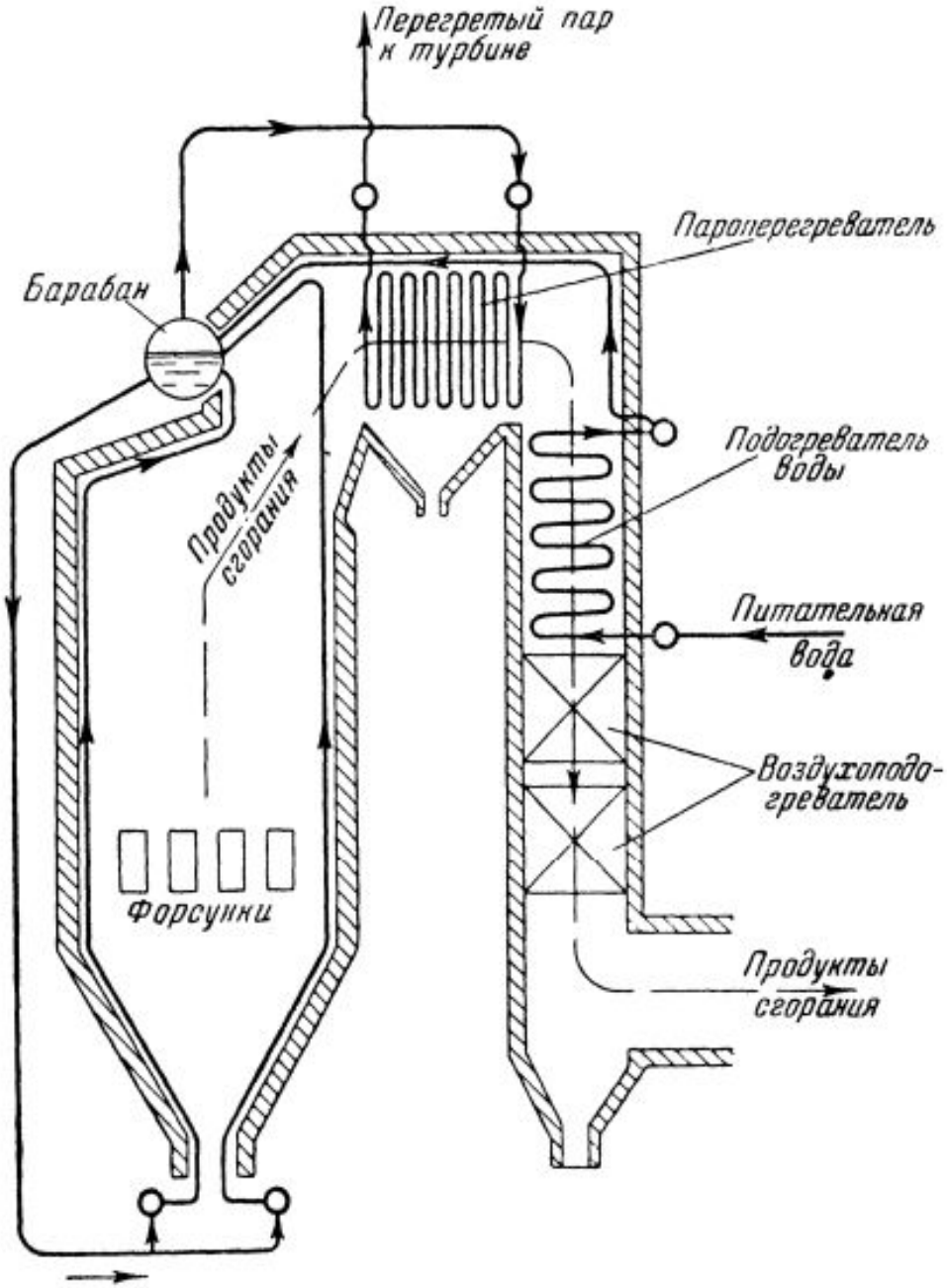


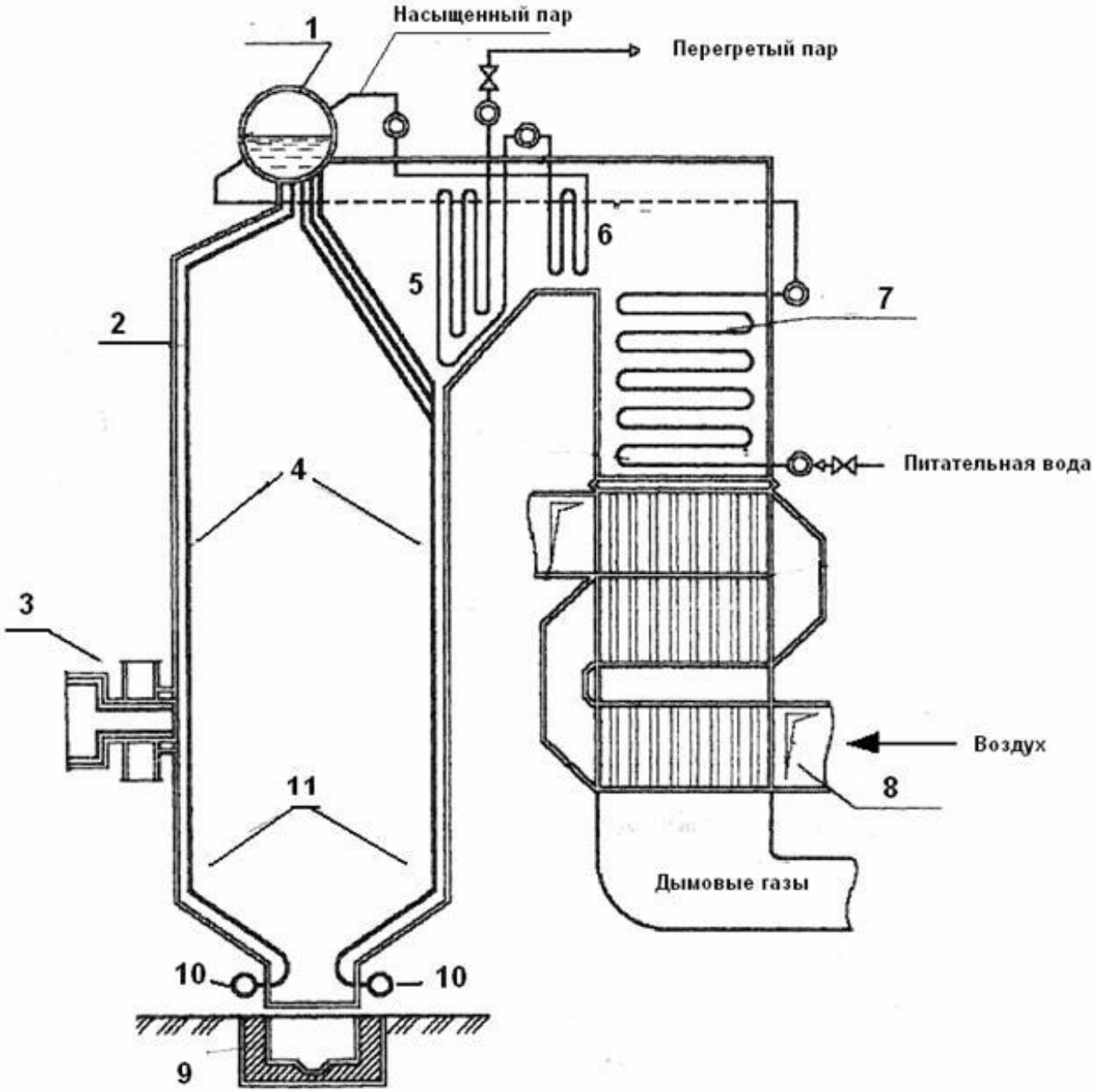
1 – подъемный газоход; 2 – опускные трубы; 3 – испарительные поверхности нагрева; 4, 5 – водяной экономайзер 1 и 2 ступень соответственно; 6, 7 – воздухоподогреватель 1 и 2 ступень соответственно; 8 – фестон; 9, 10 – пароперегреватель 1 и 2 ступень соответственно; 11 – барабан-сепаратор; 12 – нижние коллекторы испарительных поверхностей; 13 – горелки.

Принципиальная схема барабанного парового котла с естественной циркуляцией

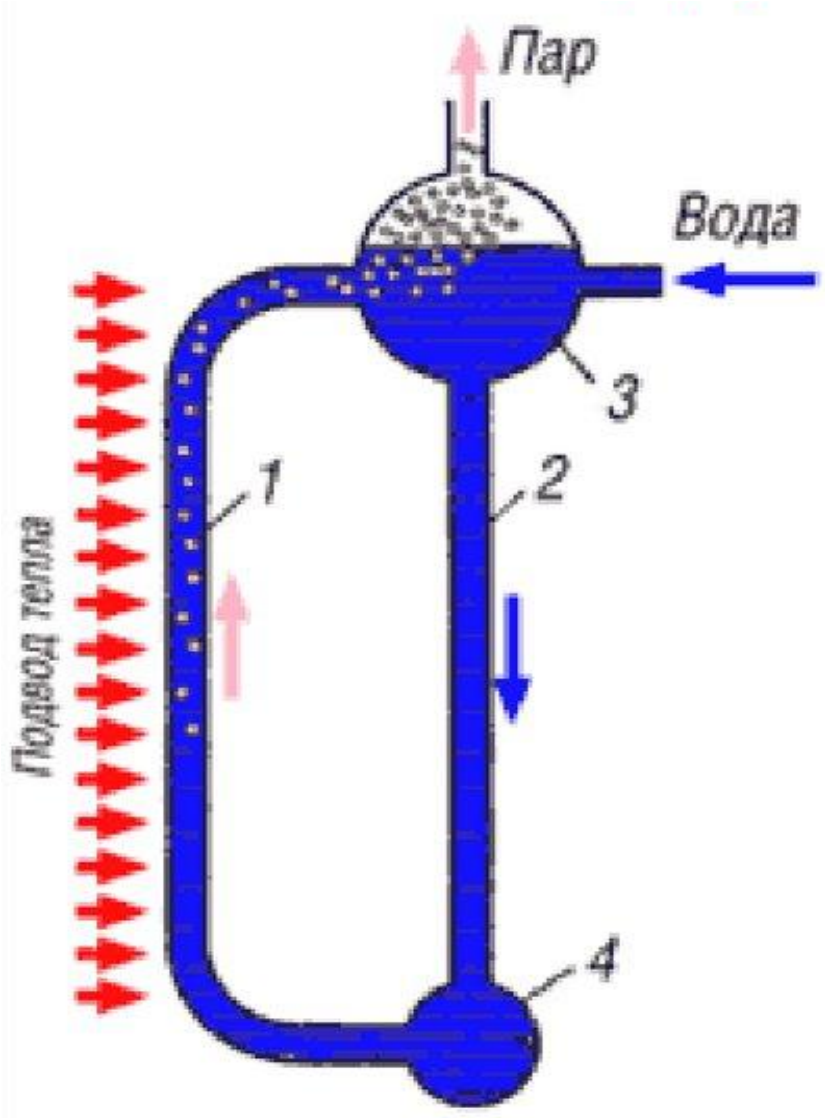


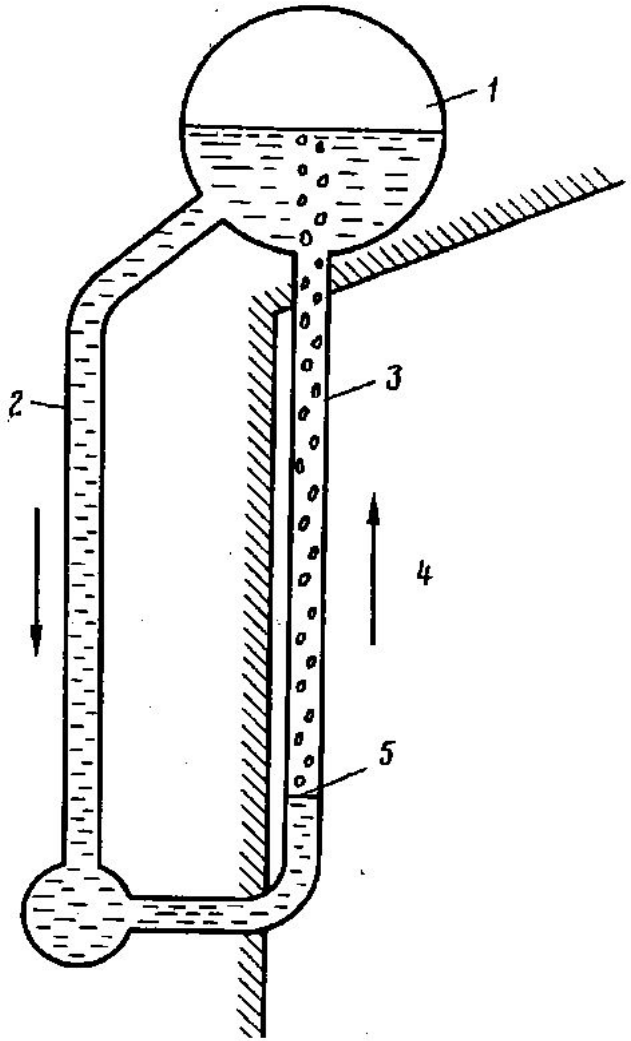
1 – топочная камера;
2 – горелки;
3 – опускные трубы;
4 – топочные экраны;
5 – верхние коллектора;
6 – барабан;
7 – отводящие трубы;
8 – радиационный потолочный пароперегреватель;
9 – ширмовый пароперегреватель;
10 – верхний коллектор заднего экрана;
11 – воздухоподогреватель;
12 – нижние коллекторы топочных экра-нов;
13 – экономайзер;
14 – первая по ходу пара ступени конвективного пароперегревателя
15 – вторая по ходу пара ступени конвективного пароперегревателя


Перегретый пар
к турбине
Пароперегреватель
Барабан
Подогреватель
воды
Продукты
сгорания
Питательная
вода
Воздухоподо-
греватель
Форсунки
Продукты
сгорания

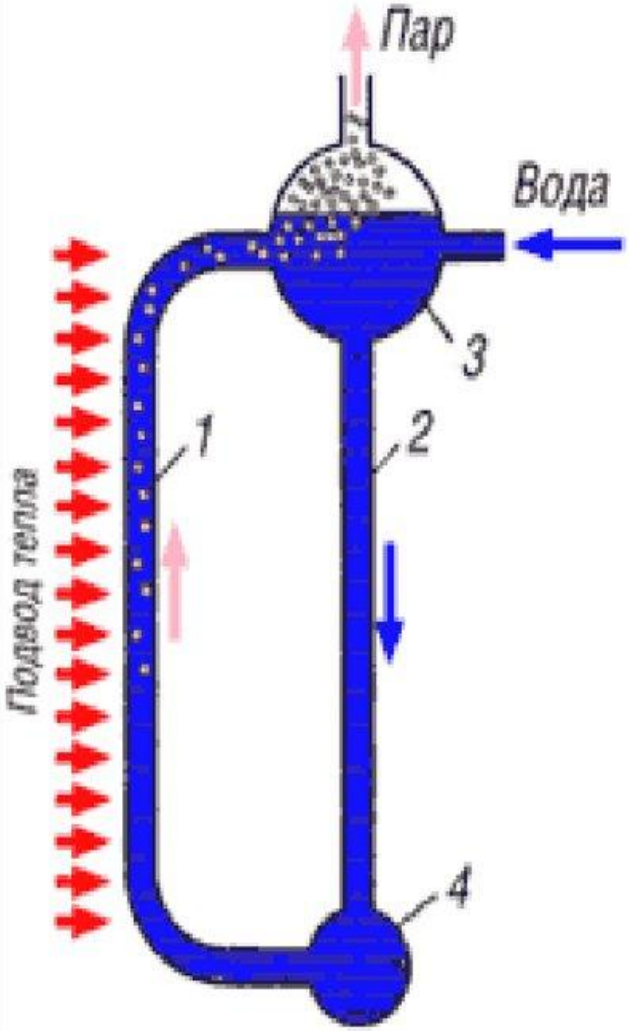

Насыщенный пар
Перегретый пар
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
10
11
Питательная вода
Воздух
Дымовые газы

Принцип естественной циркуляции





Естественная циркуляция в барабанном паровом котле

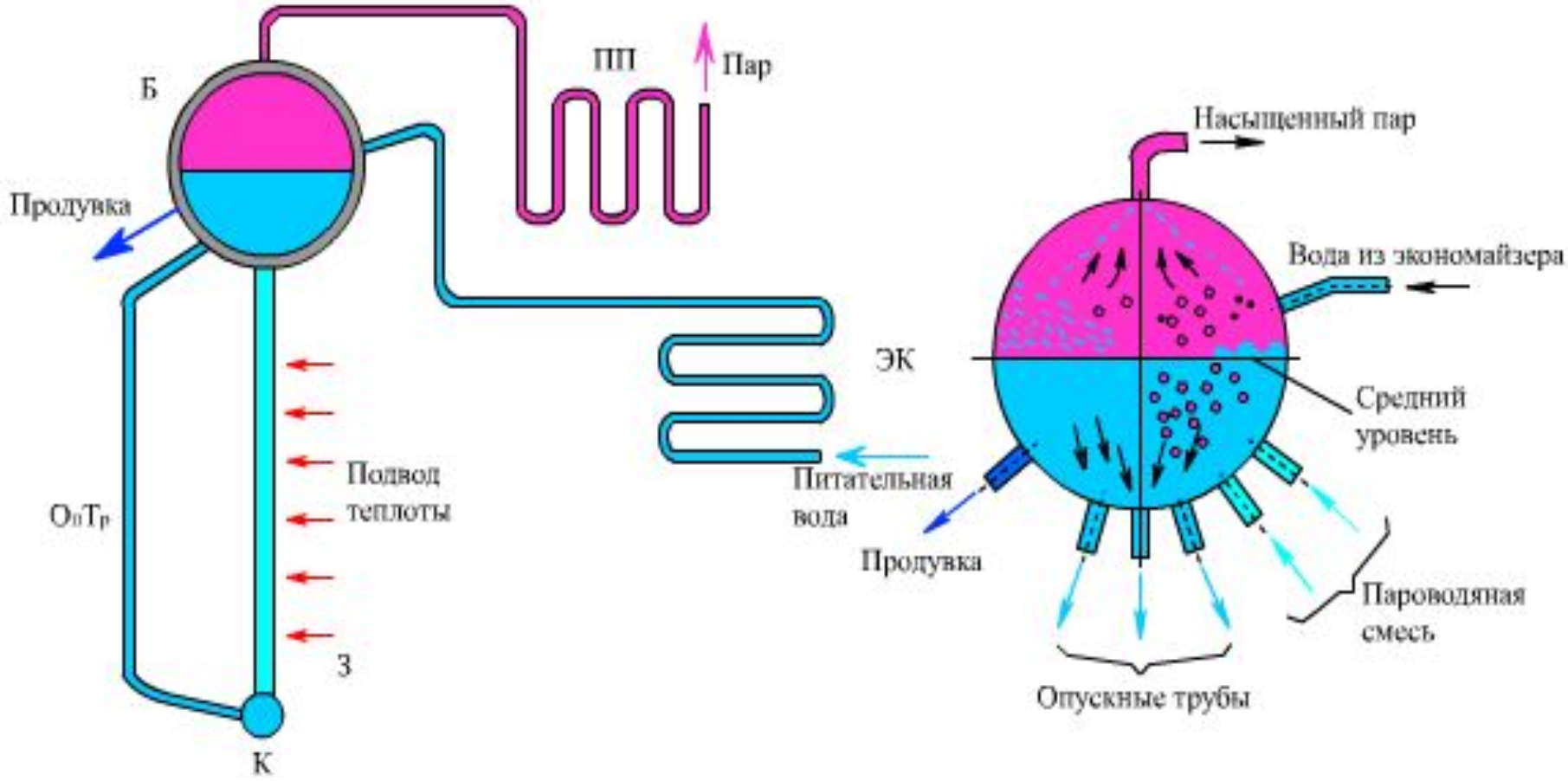


Замкнутый циркуляционный контур состоит из **барабана** 3 и **коллектора** 4, соединенных между собой **подъемной 1 и опускной 2 трубами**.

При подводе теплоты к подъемной трубе вода в ней частично испаряется и образуется пароводяная смесь, плотность которой значительно меньше плотности воды в необогреваемой опускной трубе.

В результате этого в замкнутом контуре создается напор, благодаря которому вода и пароводяная смесь приходят в движение: вода движется вниз к коллектору, а смесь - вверх в барабан, где пар отделяется от воды.

В котлах большей мощности используется принудительная циркуляция воды с помощью специальных насосов.


Б
ПП
Пар
Продувка
ОпТр
Подвод
теплоты
З
К
ЭК
Питательная
вода
Продувка
Насыщенный пар
Вода из экономайзера
Средний
уровень
Пароводяная
смесь
Опускные трубы

NATURAL CIRCULATION

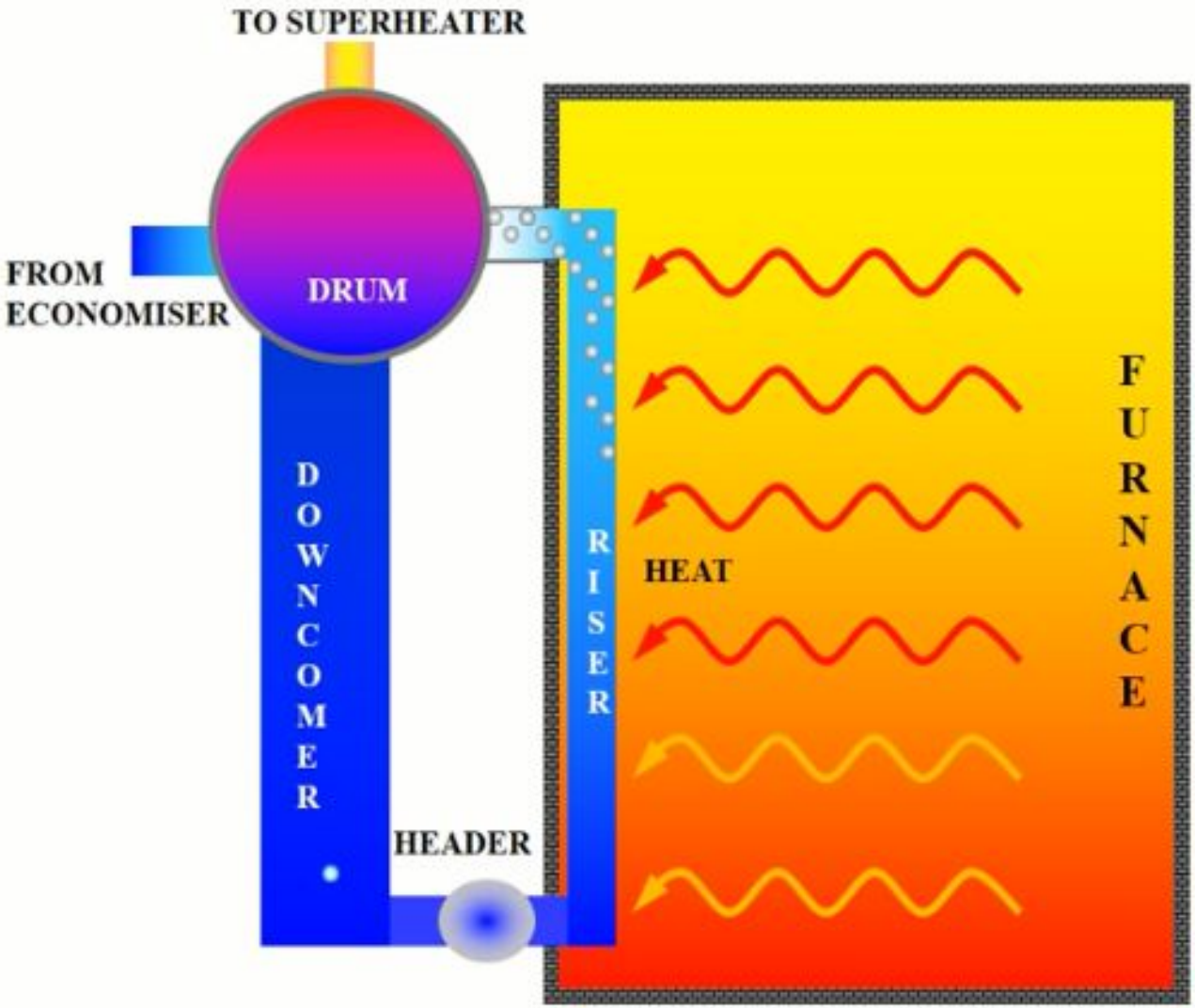
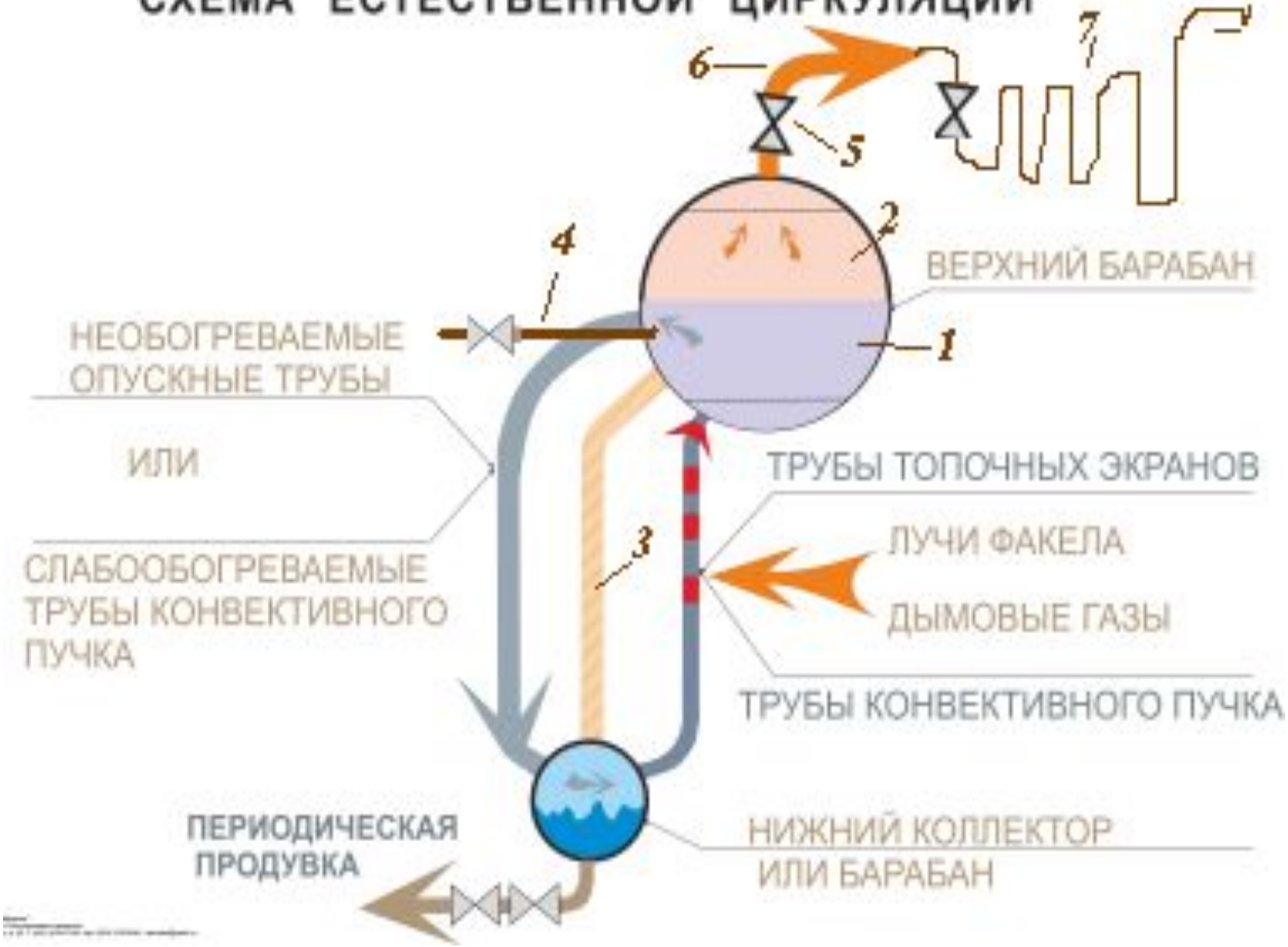
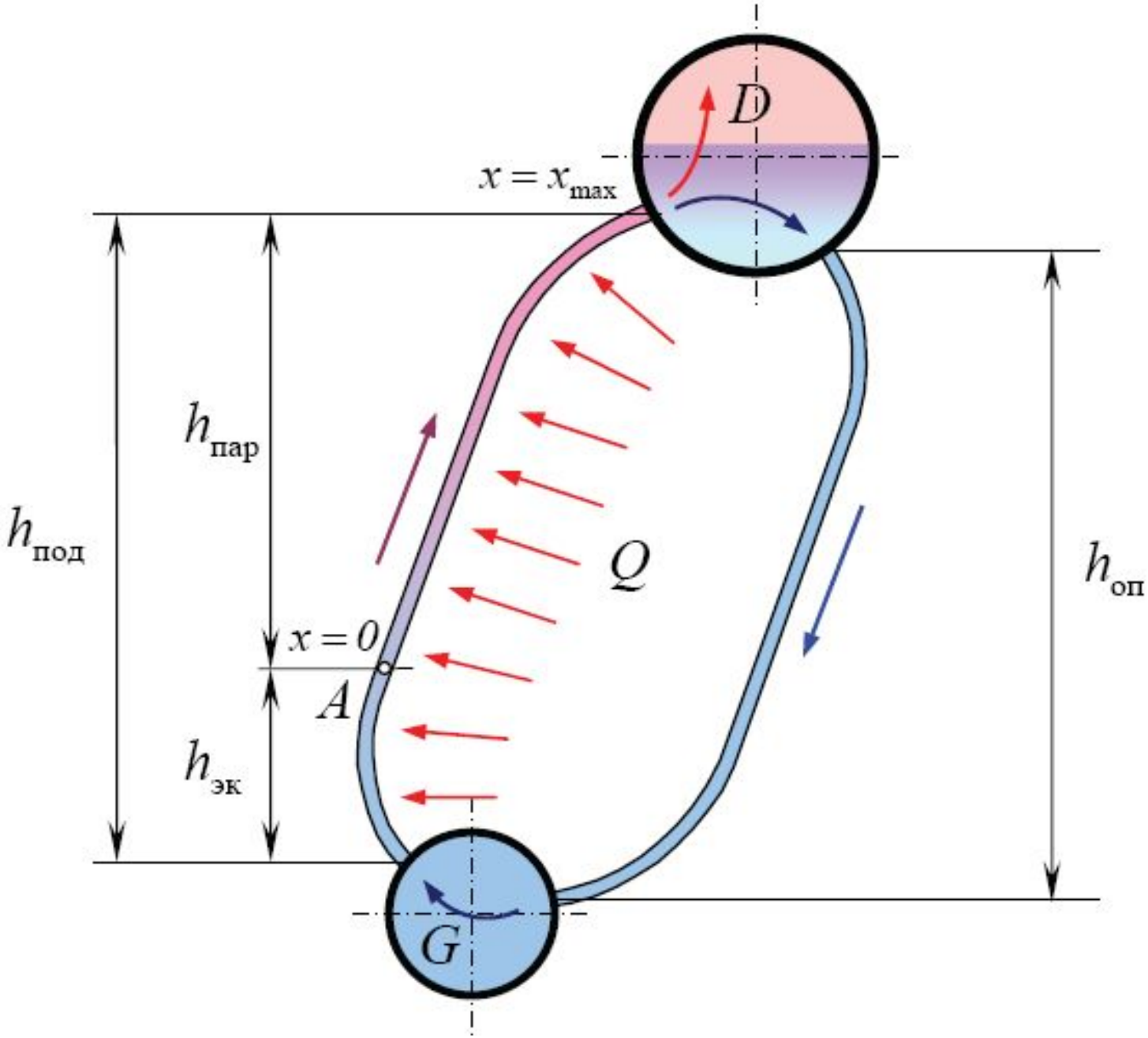


СХЕМА ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ




D
$x = x_{max}$
$h_{пар}$
$h_{под}$
Q
$h_{оп}$
$x = 0$
A
$h_{эк}$
G

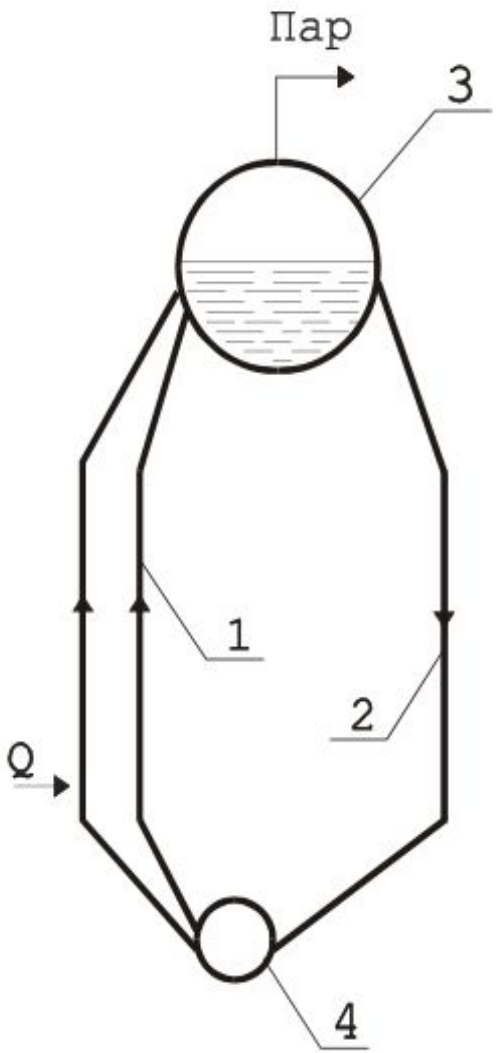


Схема естественной циркуляции

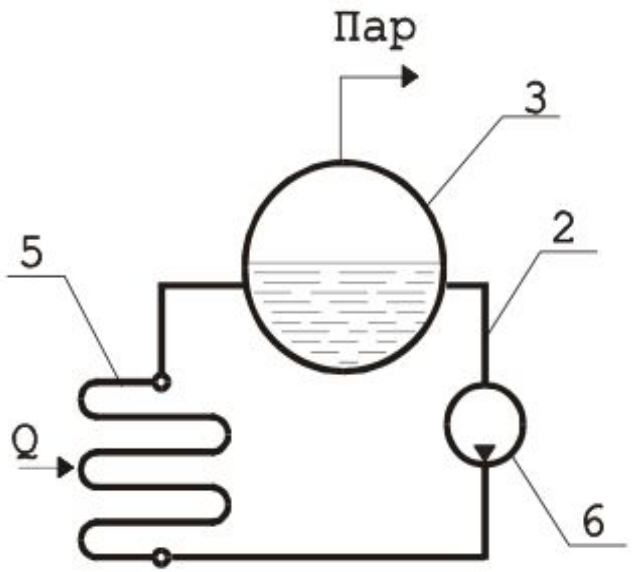


Схема принудительной циркуляции

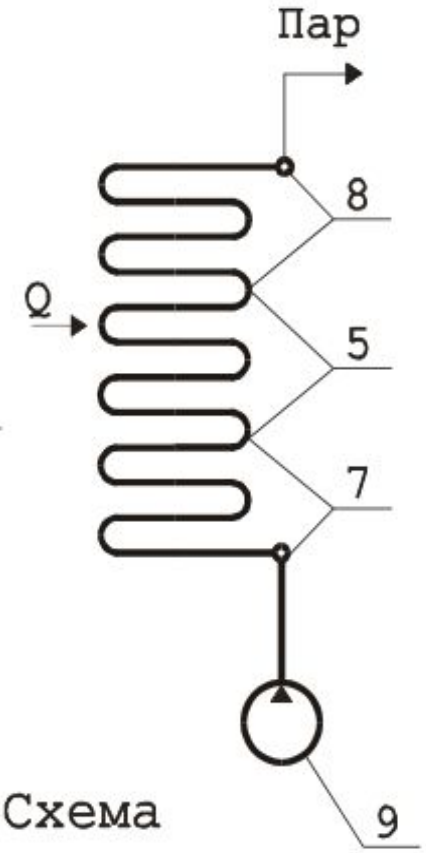
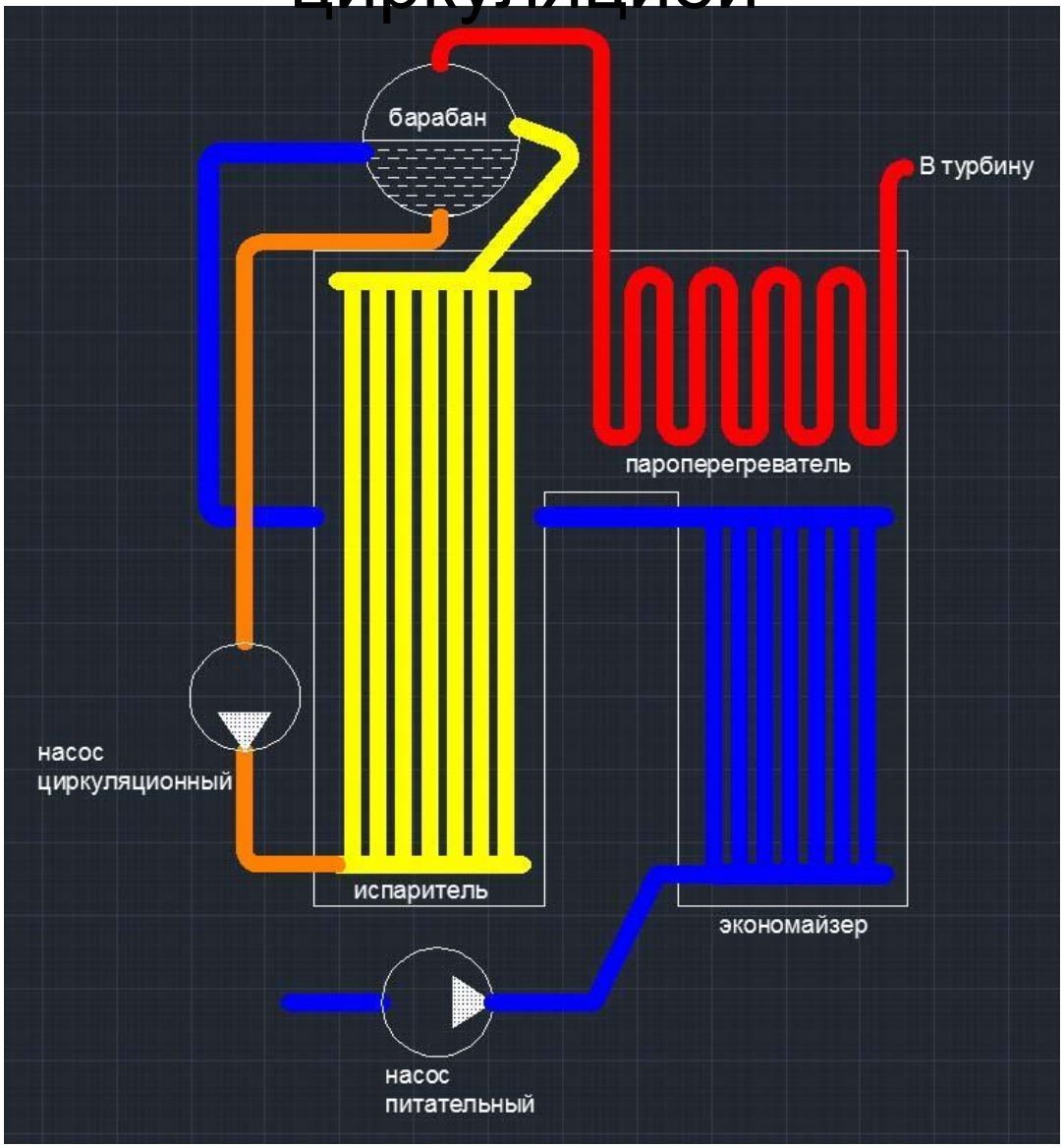
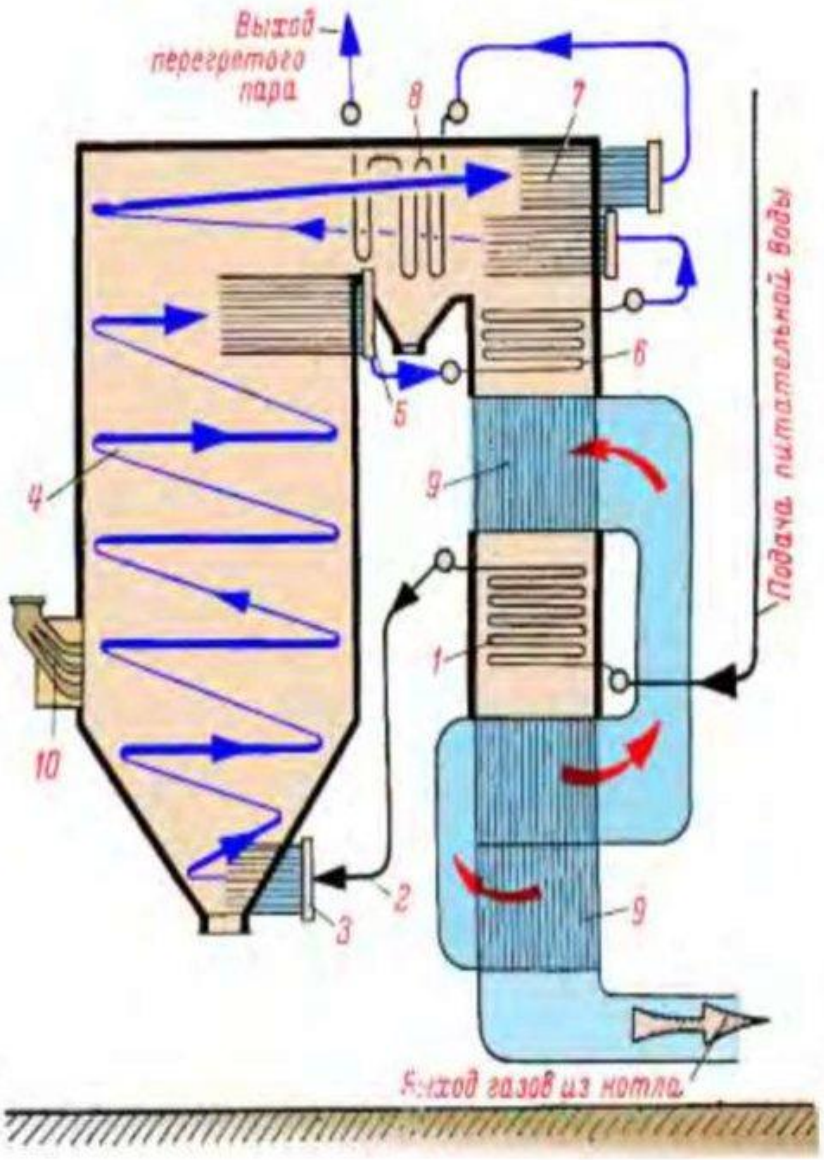


Схема прямоточного движения

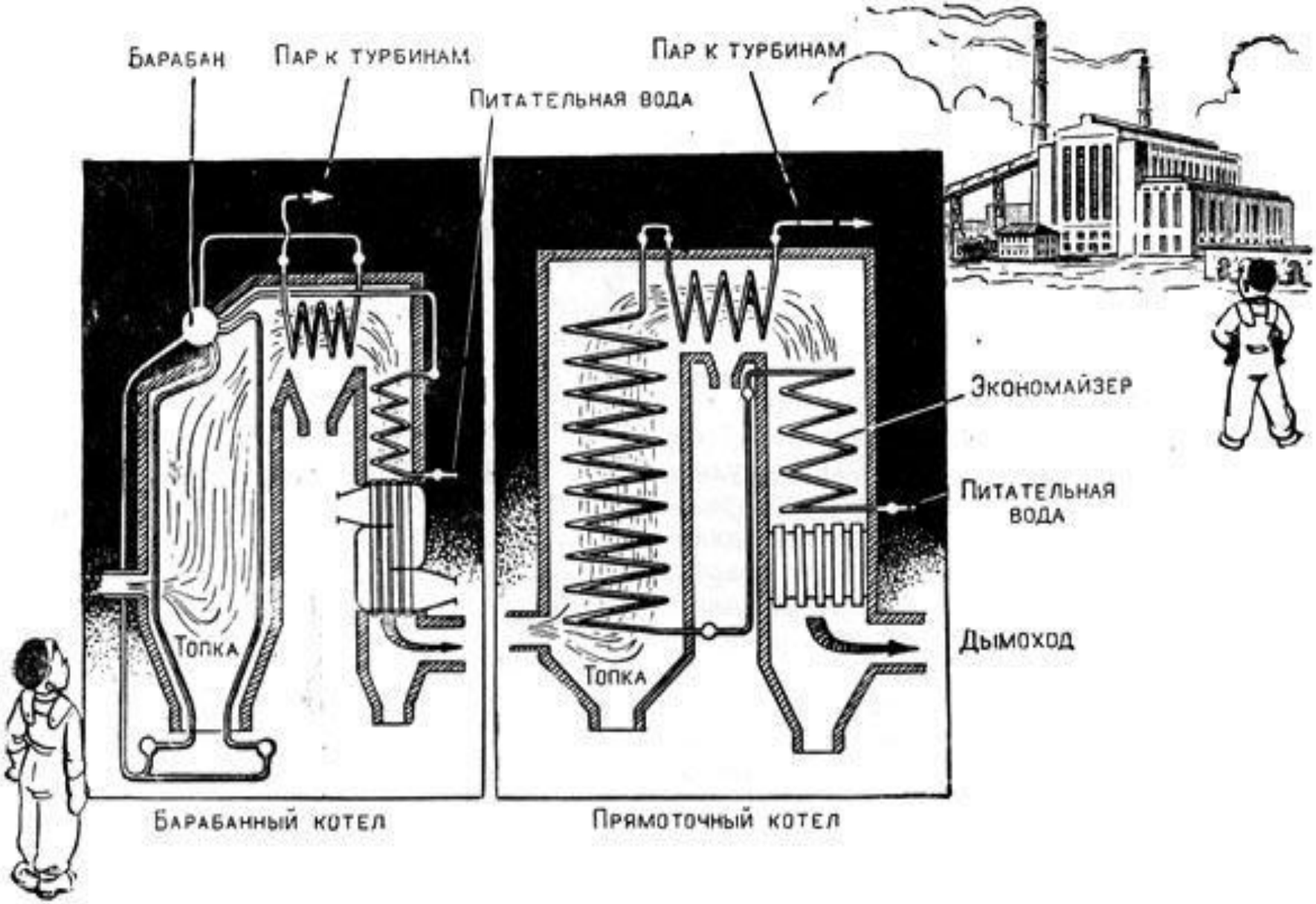
Барабанный котёл с вынужденной циркуляцией



Прямоточный котел Рамзина



1 - экономайзер; 2 - перепускные необогреваемые трубы; 3 - нижняя экранная камера; 4 -экранные трубы; 5 - верхняя экранная камера; 6 - переходная зона; 7 - настенная часть пароперегревателя; 8 - конвективная часть пароперегревателя; 9 - воздухоподогреватель; 10 –горелки.


Барабан
Пар к турбинам
Питательная вода
Пар к турбинам
Экономайзер
Питательная вода
Дымоход
Топка
Топка
Барабанный котел
Прямоточный котел

Маркировка паровых котлов

Е – 420 – 140 ГМ

Паропроизводительность, т/ч

П – *прямоточный*
Е – *с естественной циркуляцией*
Пр – *с принудительной циркуляцией*
Пп – *прямоточный с промежуточным перегревом*
Еп – *с естественной циркуляцией и с промежуточным перегревом*

ГМ – *газомазутный*
Г – *газ*
М – *мазут*
Ж – *с жидким шлакоудалением*
В – *вихревая топка*
Ц – *циклонная топка*
Р – *решетка*
Н – *наддув*
...

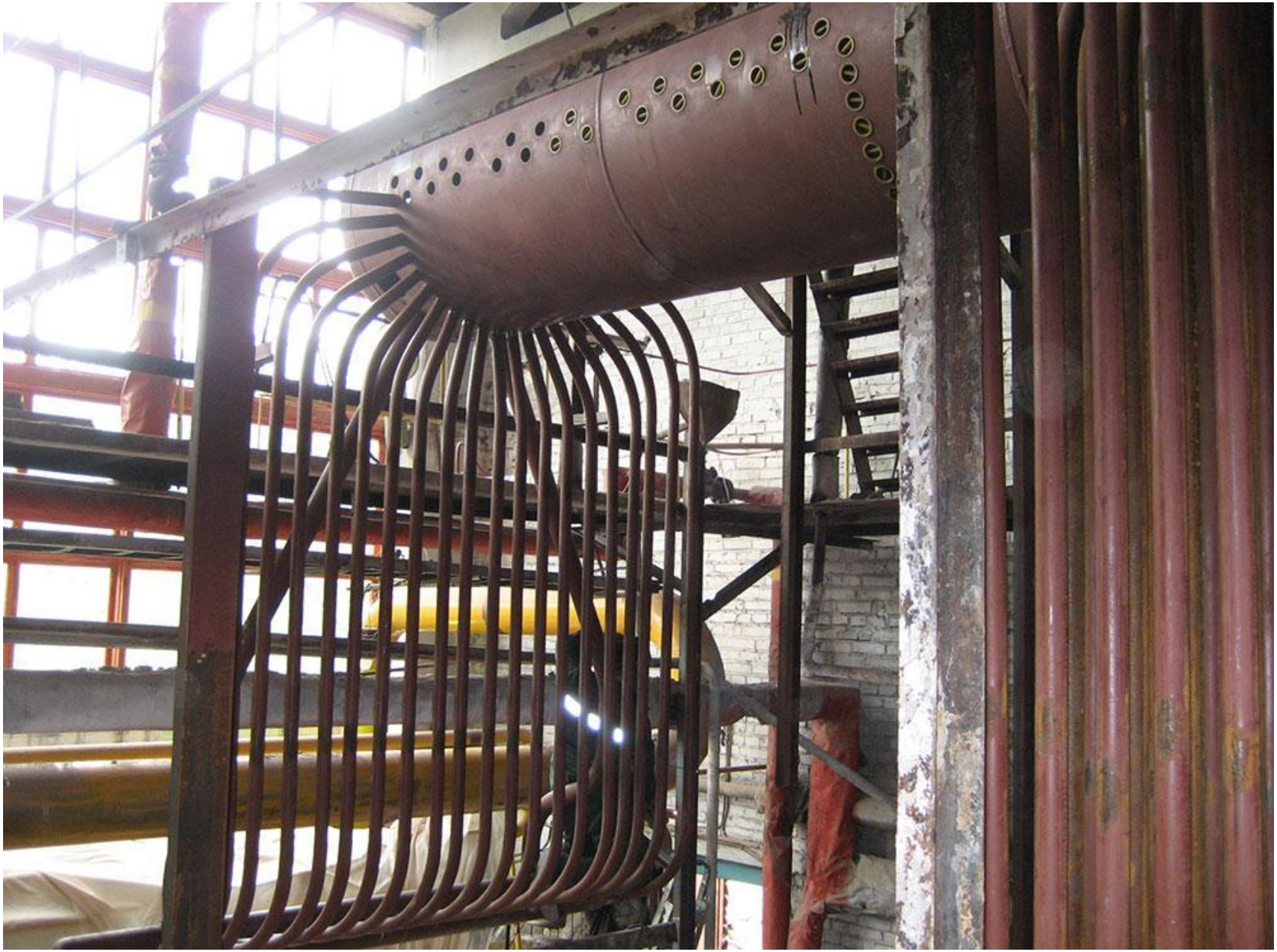
Давление пара, кгс/см²

Экранные трубы

bikz.ru

Барабан

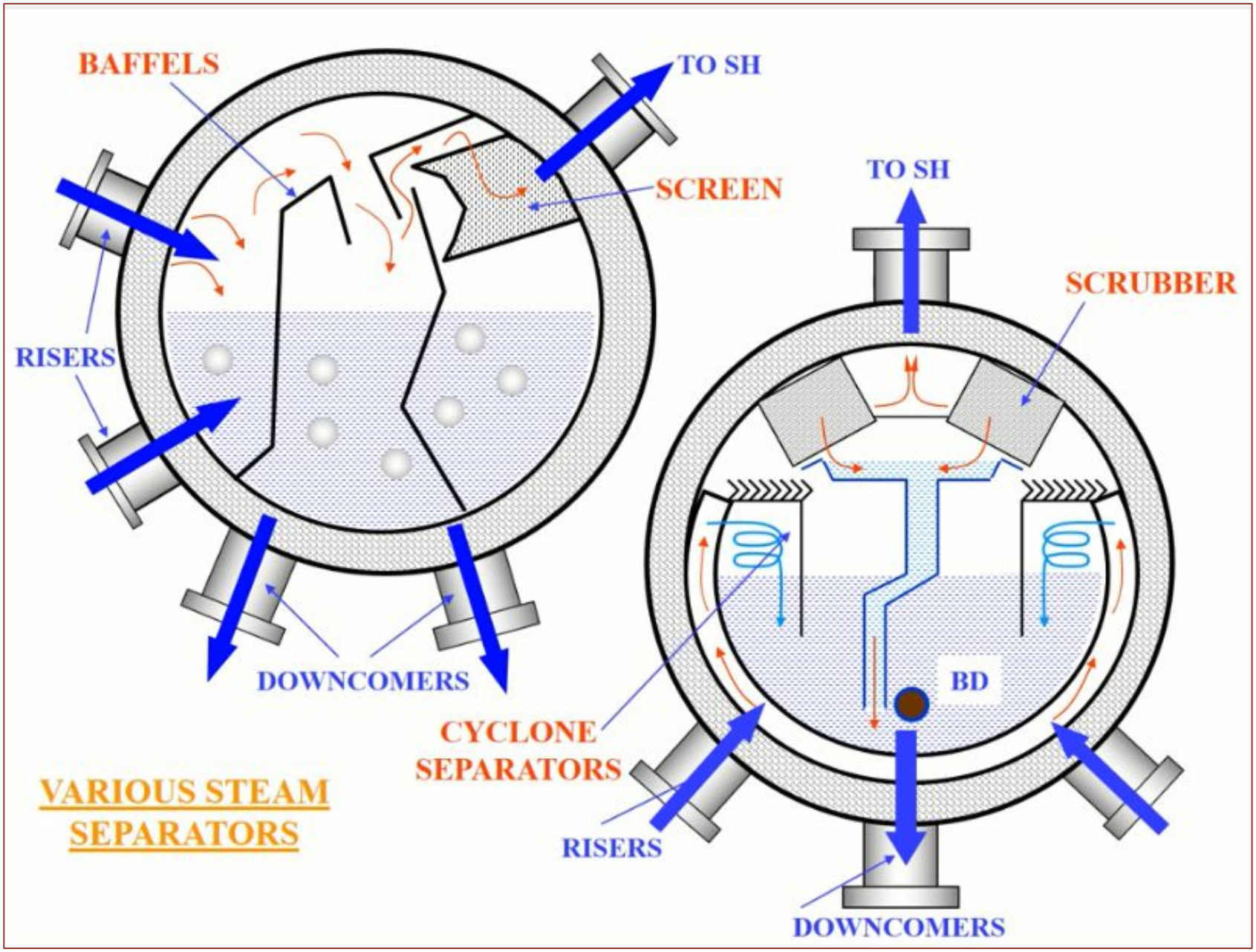
FASANO



Котельный пучок

20 13
1302

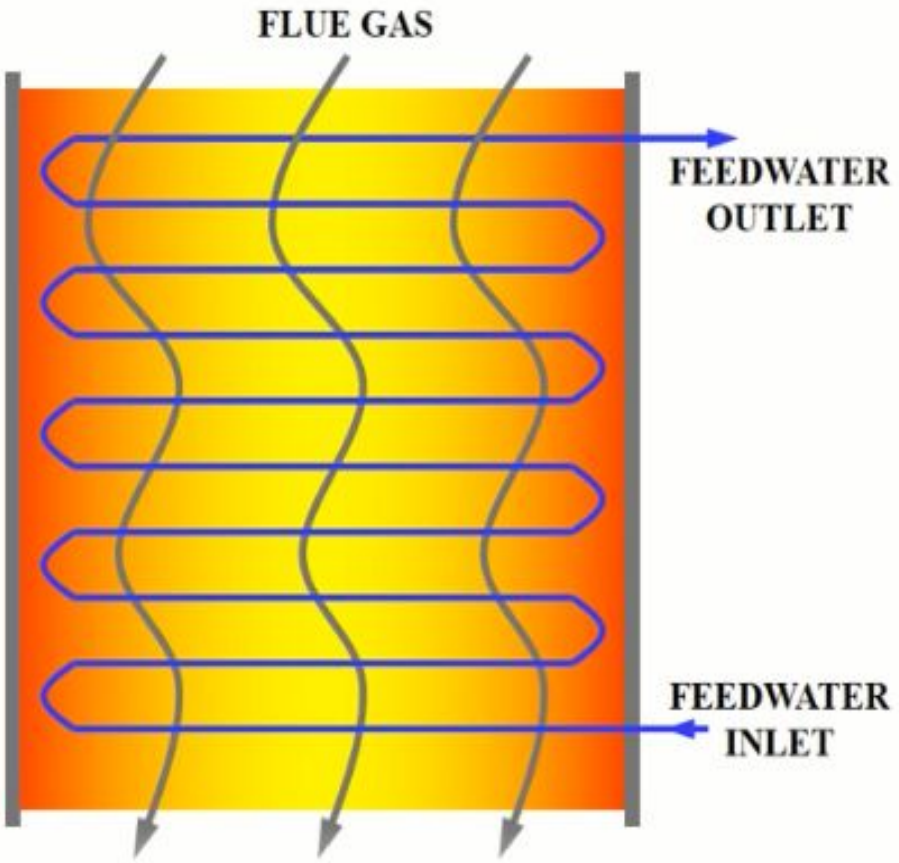
ГРУППА КОМПАНИЙ
ГАРАНТ


BAFFELS
TO SH
SCREEN
RISERS
DOWNCOMERS
TO SH
SCRUBBER
BD
CYCLONE
SEPARATORS
RISERS
DOWNCOMERS
VARIOUS STEAM
SEPARATORS

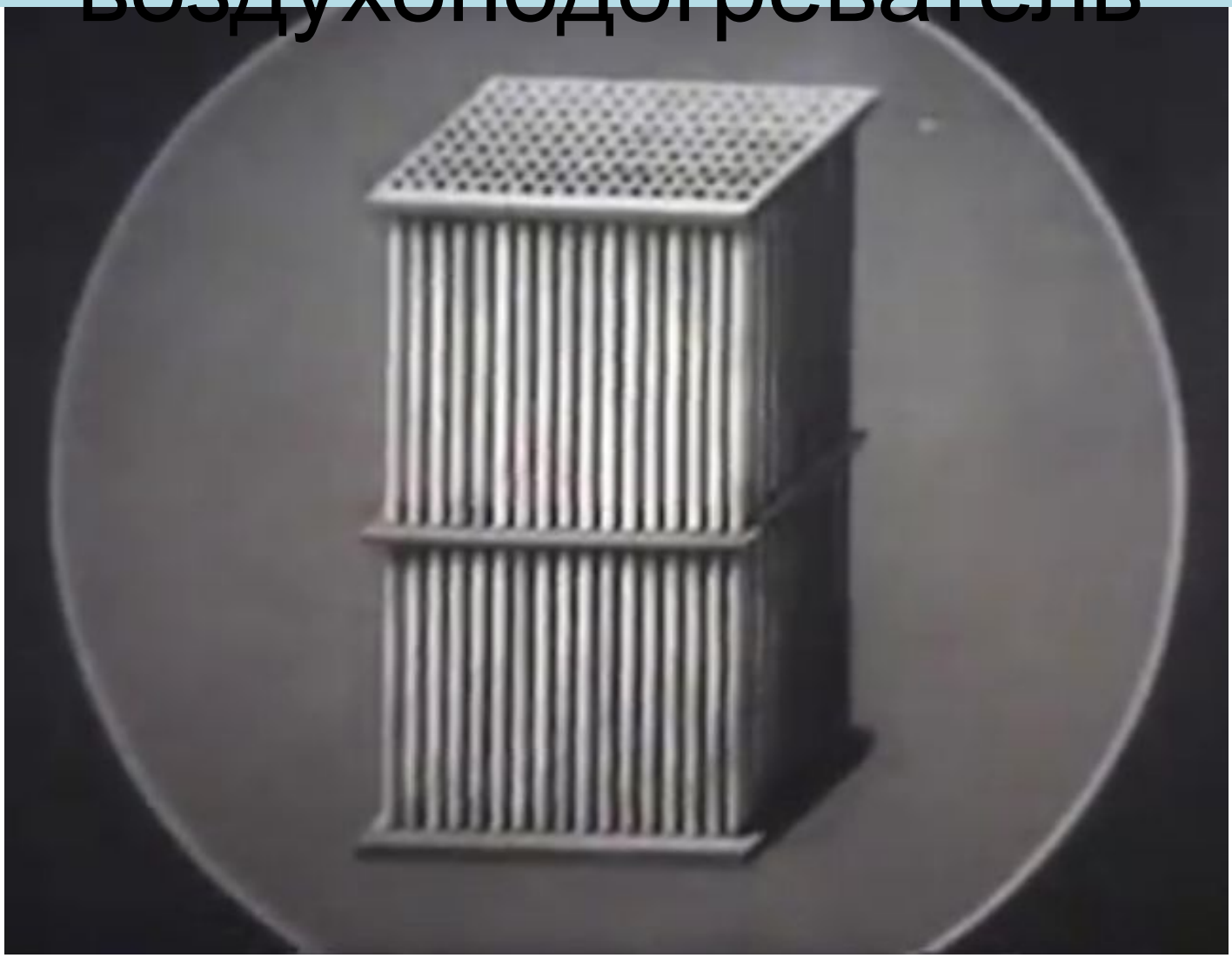
Конвективный пароперегреватель

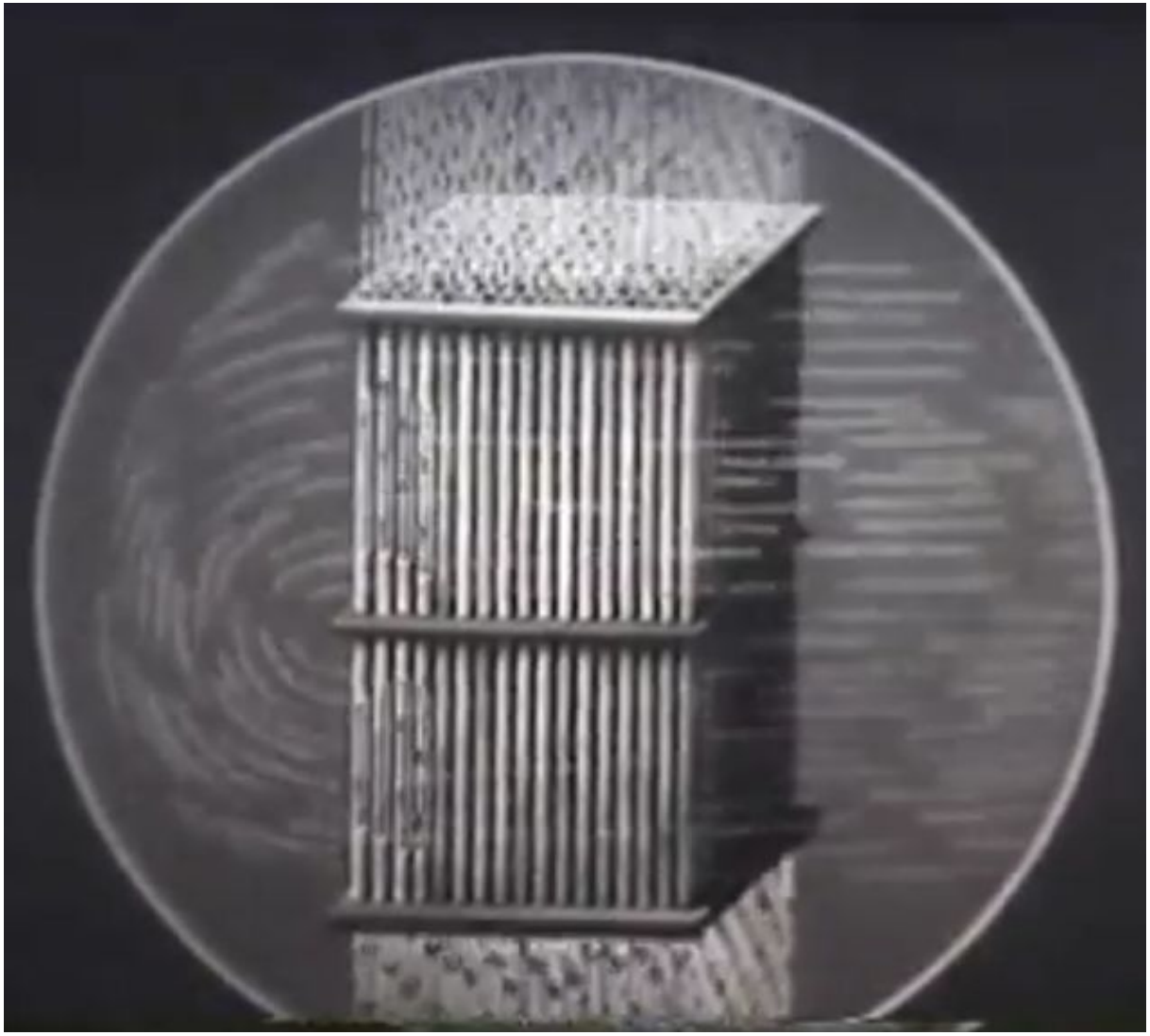
ECONOMISER

THIS IS A HEAT EXCHANGER WHICH USES THE FLUE GAS LEAVING THE FURNACE AND HEATS THE FEEDWATER AFTER THE FEEDWATER HEATERS HAVE HEATED IT. IN TGS, THE TEMPERATURE IS RAISED TO 300°C SATURATED WATER.

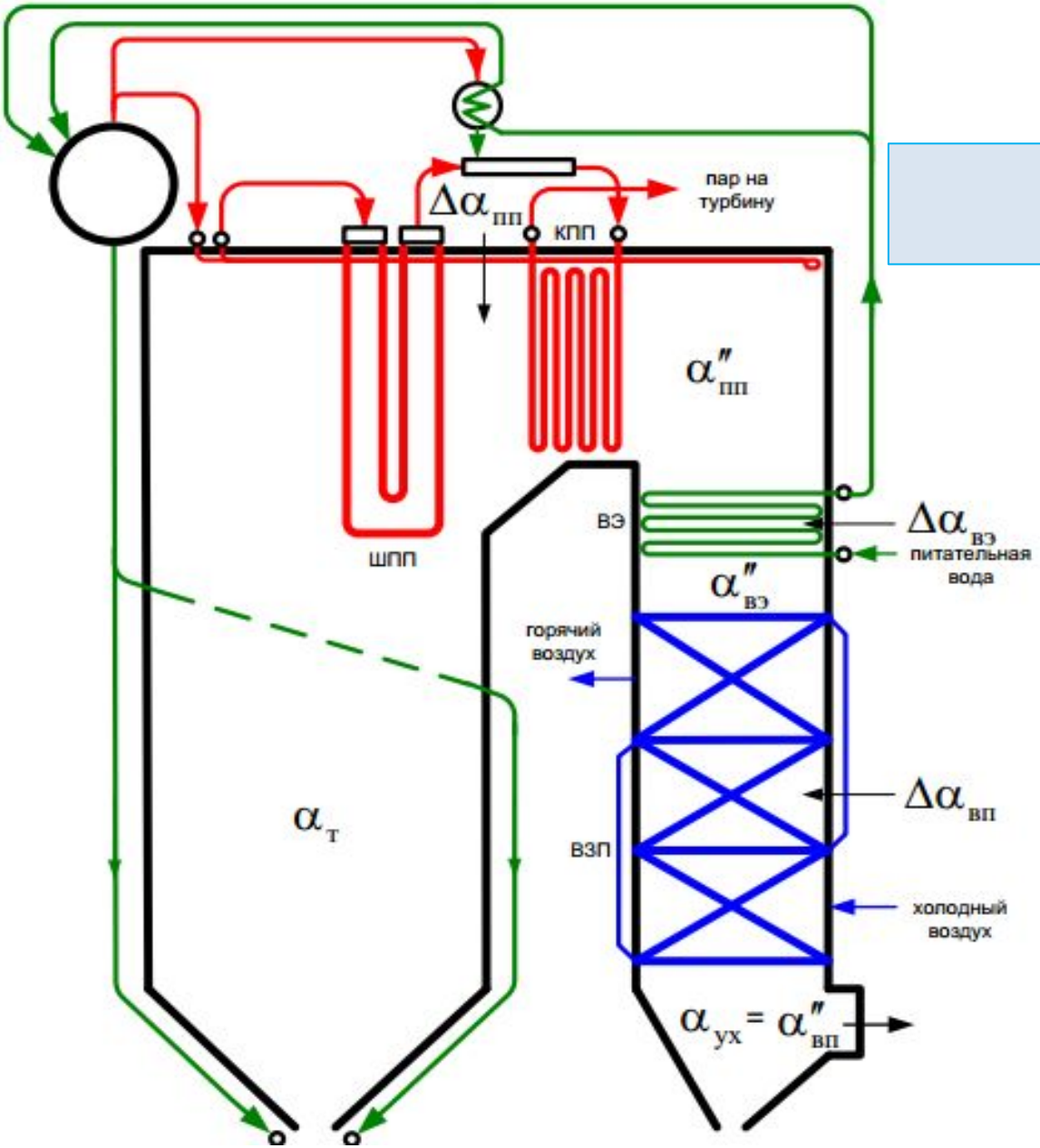


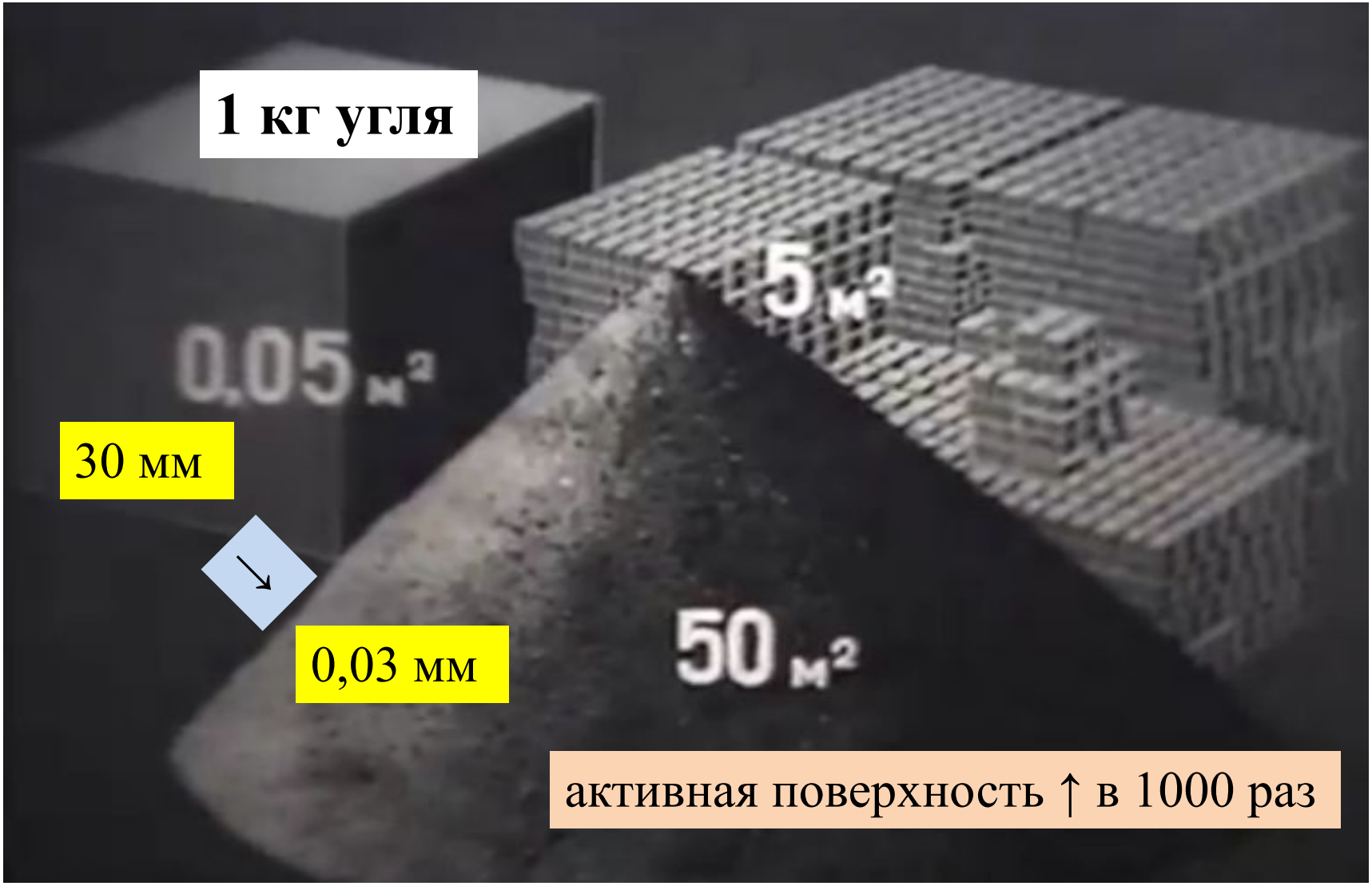
Трубчатый воздухоподогреватель





Присосы воздуха




1 кг угля
0,05 м²
5 м²
50 м²
30 мм
0,03 мм
активная поверхность ↑ в 1000 раз